

Л. Р. АКСЮТИН

# ОБЛЕДЕНЕШИЕ СУДОВ

«СУДОСТРОЕНИЕ»





Л. Р. АКСЮТИН

# ОБЛЕДЕНИЕ СУДОВ



---

ЛЕНИНГРАД  
«СУДОСТРОЕНИЕ»  
1979

ББК 39.45  
А41  
УДК 656.61.082

Рецензенты: канд. техн. наук А. А. ГУНДОБИН,  
А. П. ТЮРИН  
Научный редактор канд. техн. наук А. Я. РЫВЛИН

**Аксютин Л. Р.**

А41 Обледенение судов. — Л.: Судостроение, 1979, 128 с.

В книге рассмотрены условия образования льда на судовых поверхностях и его влияние на мореходные качества судов. Приведены методы борьбы с этим опасным явлением, проанализированы аварии морских судов и даны рекомендации по предотвращению обледенения.

Книга предназначена для работников научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций, может быть полезна морякам транспортного и промыслового флотов, а также учащимся морских и судостроительных учебных заведений.

А  $\frac{31805-038}{048(01)-79}$  22—79 3605030000

39.45

© Издательство «Судостроение», 1979 г.

Обледенением судов принято называть образование значительного слоя льда на надводной части корпуса, палубе, надстройках, мостиках, шлюпках, мачтах и механизмах. Лед выводит из строя средства судовой радиосвязи, радиолокаторы, уменьшает запас плавучести, вызывает изменение посадки судна и ухудшает его управляемость. Но самая большая опасность заключается в том, что вследствие повышения положения центра тяжести (ЦТ) судна уменьшается его остойчивость и возникает опасность опрокидывания.

Угроза обледенения существует для судов всех типов, но особенно существенно сказывается обледенение на мореходных качествах судов небольшого водоизмещения с низким надводным бортом. Из общего числа погибших от обледенения судов за последние 60 лет 80% имели длину менее 100 м. Это прежде всего промысловые и небольшие транспортные суда, основная доля рыбного промысла и значительная часть морских перевозок которых приходится на районы, где плавание в течение почти 6 мес сопряжено с опасностью обледенения. В таких районах активного рыболовства, как прибрежные воды Гренландии, опасность обледенения существует почти 9 мес, в Баренцевом, Охотском и Беринговом морях — до 8 мес. Проанализировав 65 аварий промысловых и малых транспортных судов, Н. Б. Севастьянов [67] выявил, что почти 11% случаев опрокидывания или опасного накренения судов произошло вследствие обледенения.

По статистическим данным ИМКО, мировой флот ежегодно в среднем теряет 10 судов, а многие десятки судов оказываются

в критическом положении в результате обледенения. Так, например, только с 5 по 10 января 1968 г. обледенению подверглись 56 судов, находившихся у западных берегов Камчатки и Курильских островов при температуре воздуха около 10—12°C ниже нуля, ветре 15—20 м/с, волнах высотой более 3 м и снегопаде [13]. В 1959—1973 гг. [65] лишь в прибрежных водах Японии в результате обледенения затонуло 24 японских судна и погибло 364 чел., а в районе между Японией, Камчатским полуостровом и Курильскими островами с осени 1957 по весну 1961 г. — 44 судна и 427 чел. Были случаи гибели от обледенения и судов нашего флота.

Статистика показывает, что советский флот значительно меньше страдает от подобных аварий, чем флоты других развитых морских держав. Так, по данным, опубликованным в работе [67], число погибших от опрокидывания советских промысловых судов не превышает 0,02% от находящихся в эксплуатации, в то время как в США оно составило 0,13%, а в Японии даже 0,29%, т. е. почти в 15 раз больше.

В значительной степени это объясняется обширной работой, проводимой в СССР по защите судов, в первую очередь промысловых, от обледенения. По инициативе Министерства рыбного хозяйства СССР были проведены исследования обледенения в Дальневосточном, Западном и Северном бассейнах, которые позволили организовать службу прогнозов этого опасного явления.

На основании изучения опыта эксплуатации и проведенных исследований принят ряд мер по обеспечению безопасности плавания. Рыболовным судам некоторых типов запрещено работать в зимнее время в районах возможного обледенения. Другим судам переход в зимнее время в район промысла и обратно разрешен только группами или в сопровождении крупнотоннажных судов. В районе промысла постоянно находятся спасательные суда. Разработаны специальные инструкции для капитанов по обеспечению живучести судов и т. п. Перечисленные выше меры позволили советскому флоту в течение нескольких лет избежать тяжелых аварий от обледенения.

Однако необходимо дальнейшее изучение обледенения путем теоретических исследований, натурных наблюдений на судах и модельных экспериментов. Последние осложняются тем, что до настоящего времени закономерности процесса обледенения недостаточно изучены и не известны критерии подобия для моделирования обледенения. Строгое моделирование обледенения судов в лабораториях невозможно. Несмотря на это, лаборатор-

ные эксперименты, существенно дополняющие другие виды исследований, позволили изменить конструкции мачт и оснастки рыбопромысловых судов Англии, Исландии и ряда других стран. В СССР изучение обледенения проводилось в лабораториях Арктического и антарктического научно-исследовательского института, Ленинградского политехнического института, Московского государственного университета и Ленинградского гидрометеорологического института. Исследования включали:

- изучение условий возникновения обледенения и на этой основе разработку системы прогнозирования и предупреждения об угрозе обледенения судов;

- исследование свойств льда, образующегося на судовых поверхностях;

- разработку технических средств борьбы с обледенением;

- исследование влияния обледенения на мореходные качества судов, учет обледенения при нормировании остойчивости и назначении минимальной высоты надводного борта;

- вопросы управления судном при обледенении.

К работе были привлечены специалисты в области физики, теплотехники, метеорологии, гидрологии, теории корабля, проектирования судов и судовождения.

В настоящее время физическая сущность образования льда на надводных судовых поверхностях достаточно выяснена и освещена в литературе, например в трудах ААНИИ и др. Разработаны средства и способы защиты судов от обледенения, которые можно разделить на активные — удаление льда, изменение конструкции судов и т. п. и пассивное — своевременное предупреждение об обледенении. Активные средства делятся на механические (сколка льда), физические (использование тепловых, ультразвуковых, электрических устройств для удаления льда или предупреждения его образования), физико-химические (применение веществ, растворяющих лед или понижающих температуру замерзания воды) и комбинированные.

В действующих Нормах Регистра СССР приведена методика учета обледенения. По мере накопления новых данных и результатов теоретических, экспериментальных и натурных исследований и наблюдений возможны дополнения и корректировка правил, внедрение новых рекомендаций по совершенствованию судовых конструкций и управлению судами в условиях обледенения. Имеет большой практический интерес:

- уточнение районов, в которых возможно обледенение судов и изучение условий плавания при обледенениях различной интенсивности;

— изучение закономерностей распределения льда по судовым поверхностям;

— учет возможных изменений мореходных качеств в зависимости от массы льда;

— оценка эффективности применения различных средств и методов борьбы с обледенением;

— исследование и анализ соответствия реально возникающих масс льда нормативным величинам;

— определение степени подверженности обледенению судов различных типов.

В настоящей книге сделана попытка обобщить исследования, проведенные в указанных направлениях, и на их основе предложить рекомендации, направленные на обеспечение безопасности мореплавания. Основное внимание уделено тем аспектам проблемы обледенения, которые касаются теории корабля, проектирования судов и судовождения.

---

## Глава I. Условия образования льда на судне

### § 1. КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЛЕДЕНЕНИЯ

Существует несколько классификаций обледенения. В основу одних положены физические процессы образования льда, в основу других — воздействие обледенения на остойчивость, в основу третьих — сочетание обоих названных выше принципов.

При классификации обледенения по причинам возникновения различают два основных вида:

— обледенение от забрызгивания и заливания морской водой при отрицательных температурах воздуха;

— обледенение от выпадения переохлажденных осадков (дождя, снега) и воздействия холодного воздуха, насыщенного водяными парами (тумана, парения моря), которое часто называют пресноводным обледенением. Иногда названные виды обледенения наблюдаются одновременно.

Канадские, исландские и британские моряки различают две разновидности пресноводного обледенения: «черное» и «белое». «Черное» обледенение возникает при замерзании паров тумана или мороси, когда переохлажденные слои тумана расположены выше мостика судна и наиболее интенсивно лед образуется на верхних частях судового рангоута и такелажа. Если переохлажденные слои тумана расстилаются у самой поверхности моря, ниже мостика судна, обледенение называют «белым». В этом случае интенсивнее обледеневае корпус судна [4, 47].

Очевидно, что при «черном» обледенении ЦТ образующегося льда будет располагаться выше и опасное влияние такого обледенения на остойчивость окажется сильнее. Кроме того, в этом случае возникает опасность обрыва антенн и нарушения радиосвязи. Однако случаи «черного» обледенения в чистом виде встречаются редко.

В 1965—1966 гг. были проведены исследования [77] интенсивности обледенения судов (табл. 1), использование результатов которых затруднено отсутствием количественных критериев «быстрого» и «медленного» обледенений.

Таблица 1

Повторяемость интенсивности обледенения

Интенсивность	Обледенение				
	Причины возникновения				
	Брызги	Брызги и туман	Туман	Брызги и дождь	Дождь
Быстрое (52 случая)	82	12	2	4	—
Медленное (303 случая)	91	5	2	1	1
Лед не нарастает (54 случая)	94	—	2	2	2

Чаще всего наблюдается обледенение от забрызгивания и заливания. Гидрометеорологической службой СССР в целях изучения обледенения были распространены на судах анкеты [44]. Анализ более чем 3000 случаев обледенения рыбопромысловых судов в Северной Атлантике и Дальневосточном бассейне показал, что в 89,8% случаев обледенение происходит от забрызгивания. На долю совместного действия забрызгивания и тумана, дождя или мороси приходится 6,4% случаев обледенения судов, только тумана, дождя или мороси — 2,7%. Одновременное действие забрызгивания и снега наблюдалось в 1,1% случаев.

В арктических морях получено несколько иное соотношение. Обледенение происходило от забрызгивания в 50%, от забрызгивания и осадков — в 41%, от осадков — в 6%, от тумана — в 3% случаев. Некоторое снижение доли забрызгивания как причины обледенения в арктических морях может быть объяснено тем, что льды существенно уменьшают размеры волн в этом бассейне.

Известна классификация степени обледенения по скорости нарастания слоя льда, которая основана на 3-балльной шкале: слабое обледенение — до 2 см/сут, умеренное — от 2 до 6 см/сут, сильное — более 6 см/сут. В указанной системе использованы критерии, заимствованные из авиации (в момент ее разработки

было мало научных данных по обледенению морских судов). В настоящее время она не применяется.

Х. О. Мертинс предложил 5-балльную шкалу скорости нарастания слоя льда: 1 балл — обледенения нет; 2 балла — слабое обледенение (1—3 см/сут); 3 балла — умеренное обледенение (4—6 см/сут); 4 балла — сильное обледенение (7—14 см/сут); 5 баллов — очень сильное обледенение (более 15 см/сут) [4].

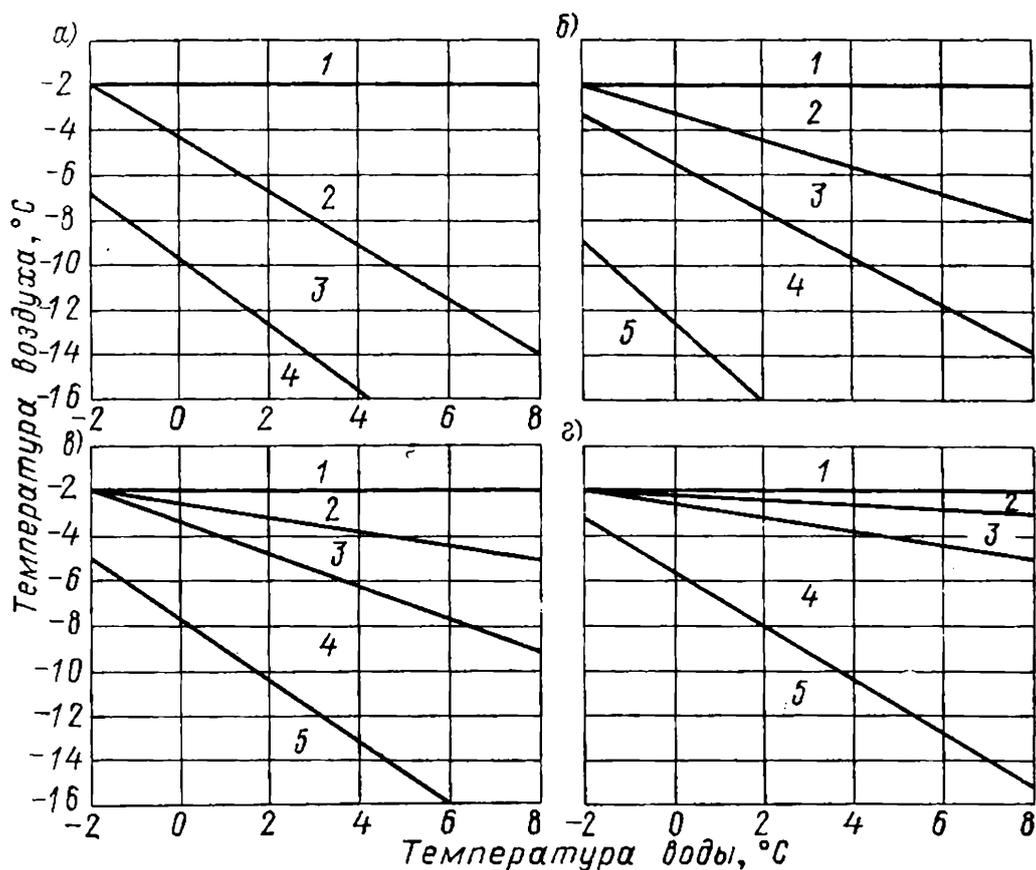


Рис. 1. Диаграммы степени обледенения по Мертинсу: а — ветер 6—7 баллов; б — ветер 8 баллов; в — ветер 9—10 баллов; г — ветер 11—12 баллов.

1, 2, 3, 4, 5 — баллы обледенения

Балл обледенения (рис. 1) определяют как функцию трех аргументов: силы ветра (баллы), температуры воздуха и воды (°C).

Диаграммы Мертинса нуждаются в существенной корректировке, так как основаны на предположении, что при температуре воздуха ниже  $-18^{\circ}\text{C}$  обледенение не происходит [3].

Ввиду того что на разных участках судовых поверхностей скорость образования льда различна, системы оценки, основанные на ее нормировании, несовершенны. Такой же недостаток имеет место, если за основу шкалы принята общая масса льда, образующегося на судне, так как в зависимости от места образования льда одной массы, его влияние на остойчивость будет

неодинаковым. Кроме того, в этом случае следует иметь в виду размер судна, иными словами, площадь обледеневающих поверхностей. Существующие в настоящее время системы классификации по степени обледенения разработаны применительно к судам типа СРТ и близким к ним по размерам судам водоизмещением порядка 300—500 т.

Максимальная масса льда, которую может принять специально подготовленное судно типа СРТ, как показали натурные наблюдения, равняется 40—50 т. Дальнейшее нарастание льда приводит к опрокидыванию судна. Исходя из этого, с учетом способности экипажа бороться со льдом установлены три степени интенсивности обледенения [44, 71].

*1. Медленное обледенение.* В течение 1 ч на судне образуется не больше 1,5 т льда. Судно достигает критической устойчивости более чем за 24 ч. При такой скорости ледообразования экипаж в количестве 25—26 чел. может удалить лед самостоятельно. Медленное обледенение возможно при любой скорости ветра и температуре воздуха от  $-1$  до  $-3^{\circ}\text{C}$  при забрызгивании, осадках, тумане, парении моря. Оно может происходить в тех же условиях при скорости ветра до 9 м/с и температуре воздуха от  $-4^{\circ}\text{C}$  и ниже.

*2. Быстрое обледенение.* Скорость нарастания льда лежит в пределах от 1,5 до 4,0 т/ч. Состояния критической устойчивости судно достигает через 12—24 ч. В таких условиях экипаж указанной выше численности с трудом справляется со сколкой льда. О состоянии судна в этом случае капитан обязан регулярно информировать судовладельца и начальника экспедиции, если судно промысловое и работает в составе группы судов. Быстрое обледенение наблюдается при ветре от 10 до 15 м/с и температуре воздуха от  $-4$  до  $-8^{\circ}\text{C}$ .

*3. Очень быстрое обледенение.* Интенсивность обледенения превышает 4 т/ч, а состояние критической устойчивости наступает менее чем за 12 ч. При таком обледенении требуется постоянно поддерживать связь с судовладельцем и начальником экспедиции, принимать самые решительные меры для удаления льда и выхода судна из опасной зоны, при необходимости прибегать к помощи судов-спасателей и более крупных судов. Такая ситуация возникает при скорости ветра от 10 до 15 м/с и температуре воздуха  $-9^{\circ}\text{C}$  и ниже или скорости ветра от 16 м/с и более и температуре воздуха  $-4^{\circ}\text{C}$  и ниже.

Указанная шкала оценки обледенения утверждена в качестве всесоюзной на семинаре, состоявшемся в Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте в 1970 г.

Однако она не вполне совершенна, так как использованные критерии зависят от размеров судна и численности экипажа. Поэтому предпринимались попытки ее усовершенствовать. Ниже приведена система, разработанная Н. Ф. Буяновым [10, 11], которая, впрочем, также условна. Эта система не нашла применения в официальных пособиях. Она основана на предположении, что в зоне опасного обледенения суда находятся в среднем

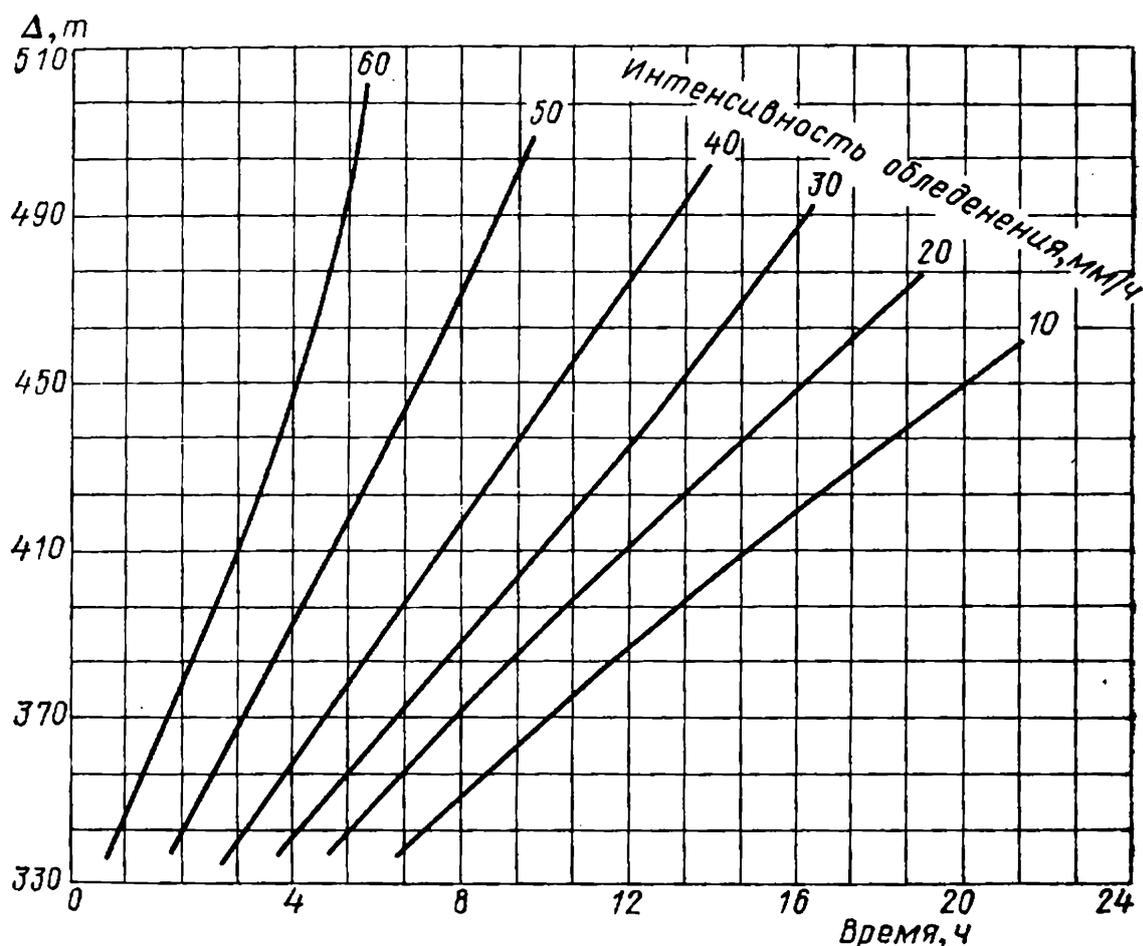


Рис. 2. Диаграмма для определения времени наступления критического состояния остойчивости СРТ-300 в зависимости от водоизмещения судна и интенсивности обледенения

10—14 ч. Определены в зависимости от скорости наступления критического состояния остойчивости три степени обледенения.

1. *Слабое обледенение.* Скорость образования льда такова, что критическое состояние остойчивости судна наступит не раньше чем через 24 ч после начала обледенения.

2. *Умеренное обледенение.* Критическое состояние остойчивости наступит не раньше чем через 16 ч. Этого времени достаточно для выхода из опасной зоны при одновременной сколке льда.

3. *Сильное обледенение.* В этом случае критическое состояние наступит менее чем за 16 ч.

Для судов типа СРТ-300 рассчитаны диаграммы, с помощью которых можно получить моменты наступления критического состояния остойчивости в зависимости от загрузки судна и скорости нарастания льда (рис. 2). График построен на основе предположения, что каждому водоизмещению судна соответствует определенное, наперед заданное значение метацентрической высоты, чего на самом деле может и не быть. Поэтому применение подобных графиков не обеспечивает высокой надежности результатов. При необходимости такие диаграммы можно построить для любого судна [41].

Степень обледенения в известной мере характеризуется средней толщиной льда, образовавшегося на ровных поверхностях корпуса судна: на полубаке, стенках рубок и надстроек. По средней толщине льда можно визуальным образом оценить степень обледенения. Если она меньше 2 см — обледенение слабое, от 2 до 6 см — умеренное, более 6 см — сильное.

Следует иметь в виду, что верхнего предела для нарастания льда на судне нет. Его количество может увеличиваться до любой величины, пока не изменится гидрометеорологическая обстановка. Поэтому нагрузка массы льда при обледенении, принятая в Нормах остойчивости и приходящаяся на единицу площади судовых поверхностей, является условной величиной.

## **§ 2. УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОБЛЕДЕНЕНИЯ И СВОЙСТВА ЛЬДА**

Основные гидрометеорологические условия возникновения обледенения для различных бассейнов и акваторий практически идентичны.

Обледенение возможно при отрицательных температурах воздуха и температуре воды ниже  $+6, 8^{\circ}\text{C}$ . Следует помнить, что морская вода в слое глубиной до 1 м может иметь температуру около  $-2^{\circ}\text{C}$ . Обледенение возникает при различных сочетаниях указанных факторов, как правило, при ветре и волнении. Условия возникновения обледенения сведены в работе [35] в несколько метеорологических комплексов, которые представлены в табл. 2.

Метеорологические комплексы, приведенные в табл. 2, рекомендованы в 1968 г. междуведомственным семинаром по теме «Лед» для разработки методик прогнозирования обледенения судов.

По наблюдениям, выполненным в некоторых районах Арктики, устойчивость во времени гидрометеорологических комплексов, вызывающих обледенение в арктических морях, обычно не превышает 2—3 сут, редко достигая 6 сут [34]. Однако в других частях Мирового океана возможны иные сроки.

В зависимости от существования того или иного метеорологического комплекса меняется характер распределения льда по

Таблица 2

Метеорологические комплексы, вызывающие обледенение судов

Условный номер комплекса	Температура воздуха, °С	Скорость ветра, м/с
I	≤ 0 (осадки, туман, парение моря)	≤ 7,0
II	От 0 до -3,0	7,1—15,0
III	» 0 » -3,0.	> 15,0
IV	» -3,1 до -8,0	7,1—15,0
V	» -3,1 » -8,0	> 15,0
VI	> -8,1	7,1—15,0
VII	> -8,1	> 15,0

Примечание. Комплекс I соответствует пресноводному обледенению, а остальные — брызговому

судовым конструкциям и его характеристики (плотность, структура).

На практике обледенение судов наблюдалось при температурах воздуха от 0 до -26 °С и скоростях ветра от 0 до 55 м/с, причем с понижением температуры воздуха и усилением скорости ветра вероятность обледенения и его интенсивность увеличиваются.

Некоторые исследователи высказывали мнение, что при температурах воздуха ниже -18 °С не происходит обледенения от забрызгивания, так как водяные брызги во время полета в воздухе замерзают, превращаются в мелкие кристаллы льда и не пристаю к холодным судовым конструкциям. Однако практика показала, что при температурах воздуха ниже -18 °С неоднократно отмечались случаи тяжелого обледенения судов.

Изменение температуры воздуха влияет на силу сцепления льда с судовыми поверхностями (адгезию). Характер этого влияния зависит от физико-химических свойств материала конструкции, подвергшейся обледенению. Так, адгезия льда с некоторыми специальными антиобледенительными палубными покрытиями с понижением температуры увеличивается и достигает

наибольшего значения при температуре около  $-15^{\circ}\text{C}$ . Дальнейшее понижение температуры ведет к уменьшению адгезии [30].

Неоднократно наблюдалось обледенение при температуре воды  $+5, 6^{\circ}\text{C}$ . В этом случае при низкой температуре воздуха капли воды во время полета быстро охлаждаются до температуры замерзания.

Следует отметить, что влияние температуры морской воды на обледенение оценивается авторами по-разному. Одни при-

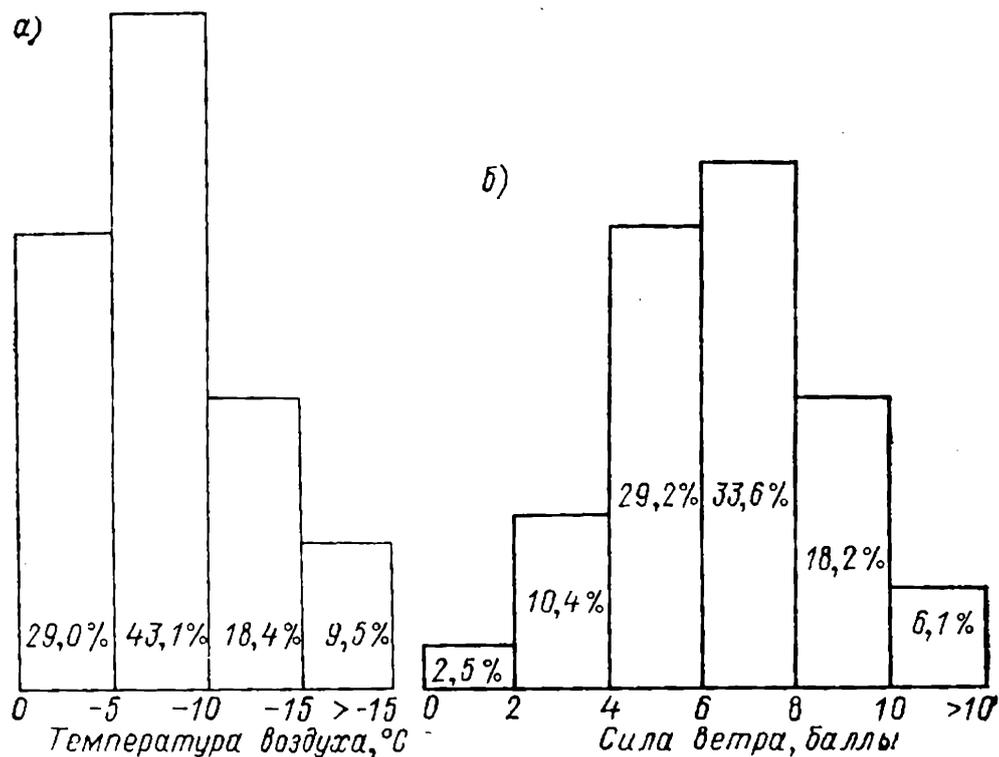


Рис. 3. Гистограммы повторяемости случаев обледенения: а — при различных температурах воздуха; б — при ветрах различной силы

дают ей большое значение, другие считают несущественным фактором. Однако общим является мнение, что чем ближе температура воды к температуре замерзания, тем сильнее обледенение [17].

С повышением температуры воды заметно уменьшается образование льда на судне. На рис. 3, а, б приведены гистограммы, показывающие повторяемость различных температур воздуха и скоростей ветра, при которых наблюдалось обледенение в районах полуострова Лабрадор, Баренцева, Норвежского, Берингова, Охотского и Японского морей. Сведения, положенные в основу гистограмм, собраны за 9—14 лет. Гистограмма

на рис. 3, а составлена на основании 600 наблюдений, а на рис. 3, б — 674 наблюдений [62].

Указанные выше метеорологические условия сохраняются в высоких широтах значительную часть года. Так, в районах Северной Атлантики 439 случаев обледенения судов, наблюдавшихся в 1955—1969 гг., распределились по месяцам (%) следующим образом:

Январь . . . . .	24,0	Сентябрь . . . . .	0,5
Февраль . . . . .	26,4	Октябрь . . . . .	1,8
Март . . . . .	11,6	Ноябрь . . . . .	11,6
Апрель . . . . .	1,1	Декабрь . . . . .	23,0
		Итого . . . . .	100,0

Наблюдавшиеся в 1960—1969 гг. в Беринговом, Охотском и Японском морях 395 случаев обледенения (%) распределились так:

Январь . . . . .	34,5	Май . . . . .	1,4
Февраль . . . . .	30,2	Ноябрь . . . . .	8,8
Март . . . . .	5,8	Декабрь . . . . .	16,9
Апрель . . . . .	2,4	Итого . . . . .	100,0

Следует учитывать, что приведенные выше статистические сведения по обледенению в морях Дальневосточного бассейна имеют весьма осредненный характер, так как гидрометеорологические условия в морях различны.

На образование льда влияет соленость заборной воды. При одних и тех же гидрометеорологических условиях с увеличением солености возрастает количество льда, образующегося на судовых поверхностях. При пресноводном обледенении судна от забрызгивания и заливания откладывается меньше льда, чем при забрызгивании и заливании морской водой [8].

На брызговое обледенение существенно влияют размеры волн и их крутизна. С увеличением высоты и крутизны волн возрастает степень забрызгивания и интенсивность обледенения. В прибрежных районах гидрометеорологические условия, в частности более крутые волны, чаще способствуют возникновению обледенения. Установлено, что забрызгивание на подходах к берегу возрастает в 2—4 раза [50]. Этим объясняется то, что относительное число судов, погибших от обледенения вблизи берегов, достигает 71%, в то время как в открытом море — всего 26% [39].

Как отмечалось выше, обледенение зависит от многих факторов, основными из которых являются температуры воздуха и воды, а также скорость ветра. В природе они могут встречаться

в различных сочетаниях. Для практической оценки вероятности обледенения судна в данной гидрометеорологической ситуации удобно установить единый критерий.

В работе [74] введено понятие «суровость погоды», выражаемое некоторым числом  $N$ , получаемым по формуле

$$N = v_k(t_a + t_w), \quad (1)$$

где  $v_k$  — кажущийся (курсовой) ветер, баллы;  $t_a$  — температура воздуха, °С;  $t_w$  — температура воды, °С.

Формула (1) справедлива для брызгового обледенения при ветре силой не менее 6 баллов и курсовом угле (КУ) ветра не более 60°. Ниже будет показано, как уравнение (1) можно использовать для оценки интенсивности обледенения.

Физико-механические свойства льда, образующегося на судовых поверхностях, зависят от гидрометеорологических условий, при которых происходит обледенение, от места отложения льда на судне и времени, прошедшего с начала обледенения.

Плотность льда обычно изменяется в пределах от 0,71 до 0,96 т/м<sup>3</sup>. При расчетах рекомендуется пользоваться значением плотности 0,94 т/м<sup>3</sup> [38, 50]. Лед, образовавшийся из морской воды, обычно имеет меньшую механическую прочность и температуру плавления, чем пресноводный. Точка плавления морского льда не определяется однозначной температурой, как у пресноводного, а зависит от солености воды.

При температуре воздуха выше —15°С на металлических поверхностях и брезентовых чехлах в течение 1,5—2 ч после начала обледенения от забрызгивания образуется рыхлый лед. Затем он становится более твердым и приобретает глазированную стекловидную поверхность. В таком состоянии лед прочно сцепляется с обмерзшими деталями и с трудом поддается сколке.

На деревянных палубах лед образуется не сразу. Вначале на них появляется ледяная «каша», которая, смешиваясь с забортной водой, через 1—2 ч замерзает и превращается в рыхлый лед. Если обледенение происходит в результате заливания палубы, лед имеет пористое строение и матовую поверхность.

При температуре воздуха ниже —15°С брызги воды во время полета превращаются в мелкие сухие кристаллы льда. Такое явление напоминает снежный буран. Появляющийся при этом на судне лед имеет рыхлую структуру и меньшую силу сцепления с судовыми поверхностями, чем образовавшийся при более высоких температурах. При снегопаде образуется вязкий лед, который плохо поддается сколке.

Вследствие выпадения осадков может возникать лед различной структуры в зависимости от температуры воздуха и размеров дождевых капель.

При тумане и температуре воздуха от  $-10$  до  $-20^{\circ}\text{C}$  на судовых поверхностях оседает кристаллическая изморозь, имеющая малую плотность. Повышение температуры воздуха до  $-7^{\circ}\text{C}$  или  $-2^{\circ}\text{C}$  и укрупнение капель тумана до размера мороси приводит к тому, что кристаллическая изморозь переходит в зернистую, а затем в стекловидный гололед.

Таким образом, можно образующийся на судне лед разделить на два основных вида: изморозь, покрытая льдом, и гладкий лед.

Изморозь, покрытая льдом, имеет молочно-белый цвет и шероховатую поверхность. Сила сцепления льда с обмерзающей поверхностью невелика. Он образуется вследствие затвердевания небольших переохлажденных капель воды немедленно после удара о поверхность судна. В этом случае капли воды обладают ограниченной способностью растекаться по поверхности или совсем не имеют такой способности.

Гладкий стекловидный лед образуется при относительно медленном замерзании больших переохлажденных капель воды. Капли растекаются по поверхности до полного замерзания, образуя пласт льда с большим коэффициентом сцепления. Такой лед обычно образуется при температурах, близких к  $0^{\circ}\text{C}$ , но может появляться и при значительно более низких температурах (до  $-18^{\circ}\text{C}$ ).

### § 3. ИНТЕНСИВНОСТЬ ОБЛЕДЕНЕНИЯ

Интенсивность обледенения обычно оценивают массой льда, откладывающегося на поверхности судна за 1 ч. Учитывая интенсивность обледенения, определяют эффективность применения тех или иных способов борьбы с этим явлением: вывода судна из района обледенения, укрытия в порту-убежище, выбора оптимального режима движения судна и применения различных способов удаления льда с судовых конструкций.

В практике мореплавания интенсивность обледенения судна определяют визуально. В работе [41] указано, что опытные капитаны рыбопромысловых судов способны визуально оценивать количество льда на судне с точностью до 1—1,5 т. Однако, как известно, визуальные методы нельзя отнести к числу способов измерений.

Аналитически интенсивность образования льда на судовых поверхностях можно вычислить по формуле

$$l = \alpha \frac{t_{\text{л}} - t_{\text{з}} + 2,6 \frac{t_{\text{исп}}}{p} (E_{\text{та}} - E_{\text{т.л}})}{t_{\text{кр}} + c_{\text{л}}(t_{\text{а}} - t_{\text{л}}) + c_{\text{в}}(t_{\text{л}} - t_{\text{з}})}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  — коэффициент теплопередачи, зависящий от скорости ветра и формы поверхности, подвергающейся обледенению;  $t_{\text{л}}$  — температура образующегося льда при установившемся процессе обледенения, °С;  $t_{\text{з}}$  — температура частиц воды в пресноводном или брызговом облаке, зависящая от температуры воздуха, первоначальной температуры воды, времени полета капли в воздухе и ее размера, °С; 2,6 — коэффициент, имеющий размерность г·град·кал<sup>-1</sup>;  $t_{\text{исп}}$  — теплота испарения льда, зависящая от солености воды и величины  $t_{\text{л}}$ , °С;  $p$  — стандартное давление у поверхности моря, Па;  $E_{\text{та}}$  — упругость водяного пара при температуре воздуха над поверхностью воды, кгс/см<sup>2</sup>;  $E_{\text{т.л}}$  — упругость водяного пара при температуре обледеневающей поверхности надо льдом, кгс/см<sup>2</sup>;  $t_{\text{кр}}$  — теплота кристаллизации льда, зависящая от солености воды и величины  $t_{\text{л}}$ , °С;  $c_{\text{л}}$  — удельная теплоемкость льда, зависящая от солености воды и величины  $t_{\text{л}}$ , кал/(г·°С);  $t_{\text{а}}$  — температура воздуха, °С;  $c_{\text{в}}$  — удельная теплоемкость воды, зависящая от температуры и солености, кал/(г·°С).

По формуле (2) вычисляют интенсивность нарастания льда на поверхности площадью 1 см<sup>2</sup>, расположенной перпендикулярно потоку брызг. Уравнение получено на основании анализа теплового баланса поверхности, подвергающейся обледенению, и пригодно для подсчета как брызгового, так и пресноводного обледенения [50].

Для практических расчетов формулу (2) используют редко вследствие ее громоздкости. Необходимо также иметь таблицы и графики для выбора ряда исходных данных. В судовых условиях применяют упрощенные способы определения интенсивности обледенения, описанные ниже.

В оперативной работе удобна номограмма из работы [31] для определения интенсивности обледенения малотоннажных рыболовных судов, которая приведена на рис. 4. Ключ к использованию номограммы показан стрелками.

Минимальная интенсивность обычно наблюдается при пресноводном обледенении. Даже при весьма неблагоприятных температурах воздуха (от —15 до —25 °С) и скоростях ветра до 22 м/с интенсивность пресноводного обледенения не превышает

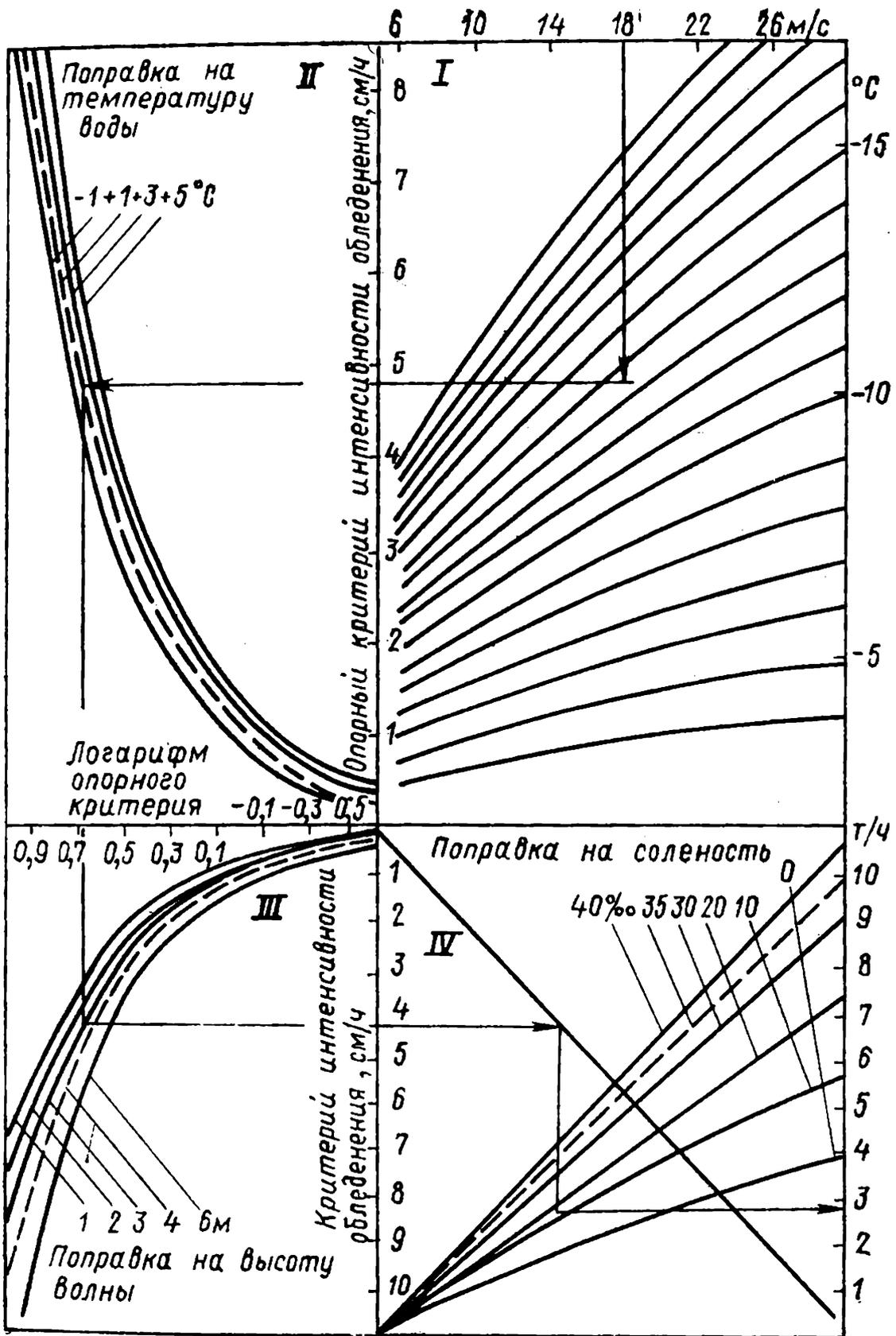


Рис. 4. Номограмма для расчета интенсивности обледенения

0,1 г/ч на 1 см<sup>2</sup> площади судовых поверхностей. Такая интенсивность обледенения не представляет опасности даже для малотоннажных судов [35].

При брызговом обледенении скорость нарастания льда на палубе судна иногда достигает 6—10 см/ч. Даже в случаях умеренной интенсивности обледенения масса льда, превышающая критическую по Нормам Регистра СССР, может образоваться на судне за 1—2 ч.

Интенсивность брызгового обледенения зависит от так называемого коэффициента захвата, под которым понимается отношение массы образовавшегося льда к общей массе воды, попадающей на судно [75].

Величина коэффициента захвата, определенная для судов типа СРТ, изменяется в пределах от 1/100 до 1/700. Она зависит от температуры воздуха и количества попадающей на судно воды. С понижением температуры воздуха и уменьшением массы попавшей на судно воды коэффициент возрастает. Поэтому при забрызгивании откладывается больше льда, чем при залипании палубы большой массой воды.

От частоты забрызгивания непосредственно зависит общая масса образующегося на судне льда. Частота забрызгивания, в свою очередь, зависит от кажущегося периода волны, т. е. от частоты встречи с волнами корпуса судна. Между этими величинами в работе [51] установлена эмпирическая зависимость

$$n = 15,78 - 18,04e^{-\frac{4,26}{\tau_k}}, \quad (3)$$

где  $n$  — частота забрызгивания в минуту;  $\tau_k$  — кажущийся период волн, с.

Выражение (3) выведено для судов типа СРТ при  $15 \geq \tau_k \geq 3,5$ . Из формулы (3) следует, что при  $\tau_k = 15$  с будет происходить два, а при  $\tau_k = 3,5$  с — десять забрызгиваний в минуту. Таким образом, при коротких волнах забрызгивание интенсивнее, чем при длинных. С увеличением скорости судна частота забрызгивания возрастает. Иногда, например ночью, при резко выраженной нерегулярности волнения, кажущийся период волн измерить сложно. В таком случае удобнее исходить из числа продольных колебаний судна в минуту и пользоваться формулой

$$n = 15,78 - 18,04e^{-0,071n_\psi}, \quad (4)$$

где  $n_\psi$  — число продольных колебаний судна в минуту. Формула справедлива для условия  $17 \geq n_\psi \geq 4$  [50].

На надводные поверхности судов типа СРТ и СРТМ брызги начинают попадать при истинном ветре более 5—6 м/с. Число забрызгиваний растет с увеличением скорости курсового ветра: при 10 м/с число забрызгиваний не превышает 5 в минуту, при 20 м/с достигает 6—9. Аналогично увеличивается и заливаемость. Максимальная интенсивность забрызгивания отмечается для судов типа СРТ при КУ в 30—50°, СРТМ — 70—80° [50].

Частота забрызгиваний в минуту в зависимости от скорости судна  $V$ , КУ к волнам и длины волн дана в табл. 3, взятой из работы [50].

Интенсивность обледенения зависит от скорости судна (рис. 5). На рис. 5 через  $n$  обозначено число забрызгиваний в час. График предназначен для определения интенсивности обледенения при волнении силой 5—7 баллов, температуре воды от  $-1$  до  $-1,5^\circ\text{C}$ , температуре воздуха порядка  $10-15^\circ\text{C}$  ниже нуля и КУ к волнению  $30^\circ$ . При одном и том же числе забрызгиваний  $n$  масса льда на судне  $m_{л}$  будет тем больше, чем больше

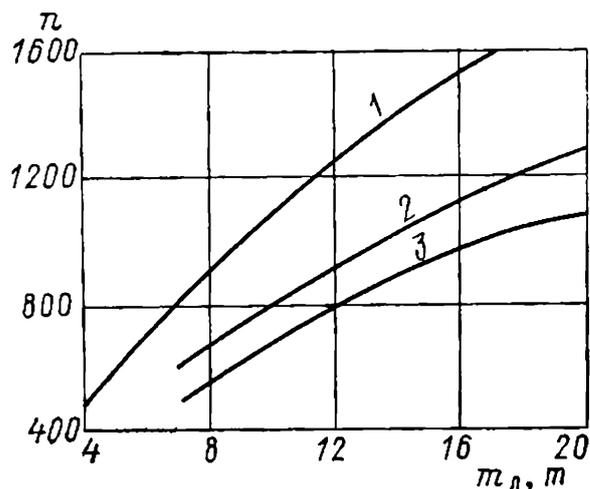


Рис. 5. График зависимости интенсивности обледенения от скорости судна.

1— $V=5,5$  уз; 2— $V=7,0$  уз; 3— $V=8,5$  уз

Таблица 3

Частота забрызгиваний, 1/мин

V, уз	КУ, °	Длина волны м				
		10	20	30	50	100
6	0	12—13	10	9	6	5
	15	13	11	10	6—7	6
	45	14	12	10	7	6
	0	12	10	9	6	5
8	15	14	11	10	8	6
	45	14—15	12	11	9	6
	0	12	10	9	6	5
10	15	15	15	15	13	10
	45	16	16	16	15	12

скорость судна. Иначе, для образования льда одной и той же массы при меньшей скорости судна требуется большее число забрызгиваний.

Частота забрызгиваний зависит от высоты волн, курса и скорости судна (рис. 6, 7). Из рис. 6, где через  $n$  обозначено число забрызгиваний в минуту, видно, что для каждой волны

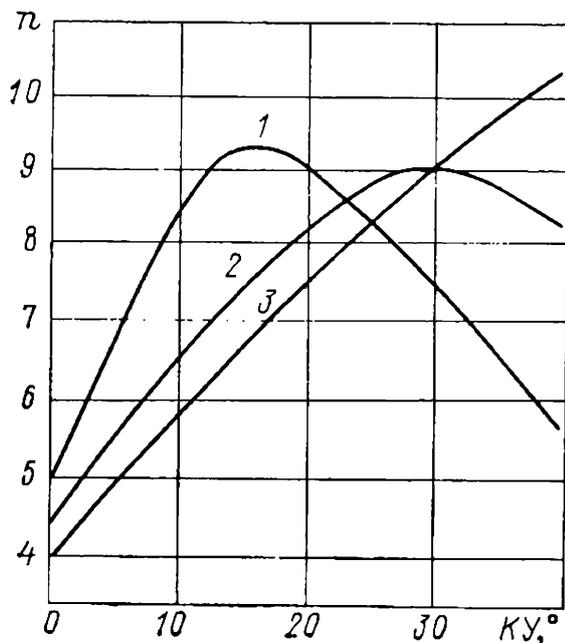


Рис. 6. Зависимость частоты забрызгивания от высоты волн, КУ к ним.

1 —  $h_{в} = 3 + 3,5$  м; 2 —  $h_{в} = 2 + 2,5$  м;  
3 —  $h_{в} = 1 + 1,5$  м

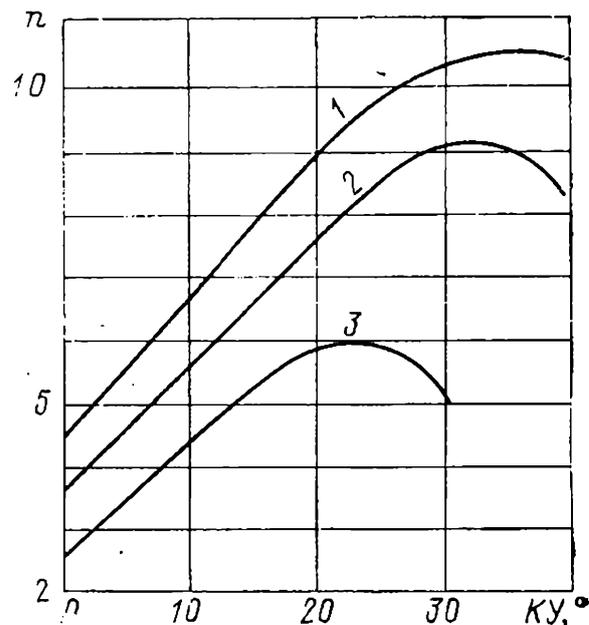


Рис. 7. Зависимость частоты забрызгивания от КУ к волнам и скорости судна.

1 —  $V = 8,5$  уз; 2 —  $V = 7,0$  уз; 3 —  $V = 5,5$  уз

определенной высоты существует свой наихудший КУ, при котором происходит наиболее частое забрызгивание и, следовательно, самое интенсивное обледенение. С уменьшением высоты волн КУ увеличивается.

При одном и том же КУ частота забрызгивания в минуту возрастает с повышением скорости судна. При больших скоростях судна КУ к волне растет, происходит наиболее частое забрызгивание (рис. 7).

С ростом количества продольных и поперечных колебаний судна увеличивается и интенсивность его забрызгивания. Например, для СРТ при 6 колебаниях в минуту происходит в среднем 4 забрызгивания, а при 16 колебаниях — 10 забрызгиваний [18].

Меняется характер забрызгивания и с изменением посадки судна. Обледеневшее судно подвергается более сильным ударам

волн, а волны при этом поднимаются выше и покрывают бóльшую площадь судовых поверхностей.

Наиболее интенсивно забрызгивание при резонансе, когда кажущийся период волн близок к периоду собственных продольных колебаний судна, который можно рассчитать по формуле

$$T_{\psi} = 2\pi \sqrt{\frac{1,96\delta d}{9,81\alpha}}, \quad (5)$$

где  $\delta$  — коэффициент общей полноты;  $d$  — осадка судна, м;  $\alpha$  — коэффициент полноты ватерлинии.

Для приближенных расчетов используют еще более простое выражение

$$T_{\psi} \approx 2,4 \sqrt{d}. \quad (6)$$

Кажущийся период волн  $\tau_k$  можно получить непосредственным измерением времени между прохождением гребней волн мимо какой-либо точки судна или рассчитать по формуле

$$\tau_k = \frac{\lambda}{1,25 \sqrt{\lambda} + 0,514V \cos q}, \quad (7)$$

где  $\lambda$  — длина волны, м;  $V$  — скорость судна, уз;  $q$  — КУ волны. Под КУ волны понимают угол между диаметральной плоскостью судна и направлением бега волн.

Таблица 4

#### Шкала степени заливаемости судна

Балл	Степень заливаемости
0	Волны совершенно не поступают на палубу
1	Брызги и гребни отдельных волн попадают на палубу, заливая ее только с наветренной стороны
2	Брызги и гребни волн проникают на всю палубу
3	Отдельные волны проникают на палубу
4	Волны систематически проникают на палубу, которая редко совершенно свободна от воды
5	Волны заливают носовую (кормовую) часть палубы. На палубе постоянно большие массы воды
6	Волны заливают всю палубу. Гребни волн проникают на средние надстройки
7	За исключением средних надстроек, вся палуба судна под водой, волны свободно проходят по ней от носа до кормы
8	Отдельные волны заливают надстройки, проникают на мостик

Для оценки заливания и забрызгивания судов еще не разработаны численные критерии. На практике применяют шкалы, основанные на словесном описании характера заливания или забрызгивания судна. В табл. 4 приведена шкала степени заливаемости судна, составленная Л. Ф. Титовым.

Заливаемость, которая зависит от мореходных качеств судна, в процессе обледенения может изменяться. На начальных ста-

Таблица 5

Шкала степени забрызгивания судна

Балл	Степень забрызгивания
0	Брызги на палубу не попадают.
1	»    накрывают четверть длины носовой части судна
2	половину длины носовой части судна, нижнюю часть рангоута и такелажа
3	всю палубу, надстройки, половину высоты рангоута и такелажа
4	всю палубу, три четверти высоты рангоута, такелажа, надстройку до половины ее высоты
5	всю носовую часть судна, рангоут, такелаж и всю лобовую стенку надстройки
6	всю носовую часть судна, рангоут, такелаж, всю лобовую стенку надстройки и верхний мостик
7	всю носовую часть судна, рангоута, такелаж, надстройку и половину шлюпочной палубы
8	все судно

диях обледенения обычно преобладает забрызгивание. При значительном обледенении усиливается заливаемость.

Для натуральных наблюдений за судами типа РС-300, СРТ, СРТР (серий «Бологое» и «Океан») и СРТМ (серии «Маяк») Арктическим и антарктическим институтом разработана шкала степени забрызгивания судна (табл. 5). Шкала составлена для случая движения судна против волны, когда КУ к направлению бега волны не более 45°.

Н. Ф. Буянов предложил методику оценки интенсивности обледенения, которая заключается в следующем [12]. Измеряют число забрызгиваний в минуту, умножают его на 60 и получают число забрызгиваний в час. Визуально определяют балл заливаемости по характеристике забрызгивания с помощью шкалы, приведенной в табл. 6. Затем находят интенсивность обледенения, которая оценивается количеством льда (м<sup>3</sup>), образующегося за 1 ч, по номограмме, приведенной на рис. 8.

Номограмма построена для судов валовой вместимостью до 500 рег. т, эксплуатируемых при температуре воздуха не ниже  $-15^{\circ}\text{C}$ . Если обледенение сопровождается снегопадом, интенсивность образования льда, определенную по номограмме, надо увеличить на 15%.

Полученный результат позволяет определить, через какой промежуток времени на судне образуется такое количество льда, при котором остойчивость достигнет критической величины. График для определения времени получения судном типа СРТ критической ледовой нагрузки в зависимости от водоизмещения и интенсивности обледенения приведен в работе [41] (рис. 2).

Для судов типа СРТ и близких к ним по размеру можно определить интенсивность обледенения, перемножив величины скорости кажущегося (курсового) ветра  $v_k$ , м/с, и температуры воздуха  $t_a$ ,  $^{\circ}\text{C}$ . Полученное число  $n$  вводят в график, приведенный на рис. 9. График построен для случая, когда судно идет полным ходом под углом  $15-45^{\circ}$  к направлению ветра.

Другой способ основан на измерении средней толщины льда, образовавшегося на планшире. Делают по три замера толщины льда на планшире с левого и правого бортов в носовой части

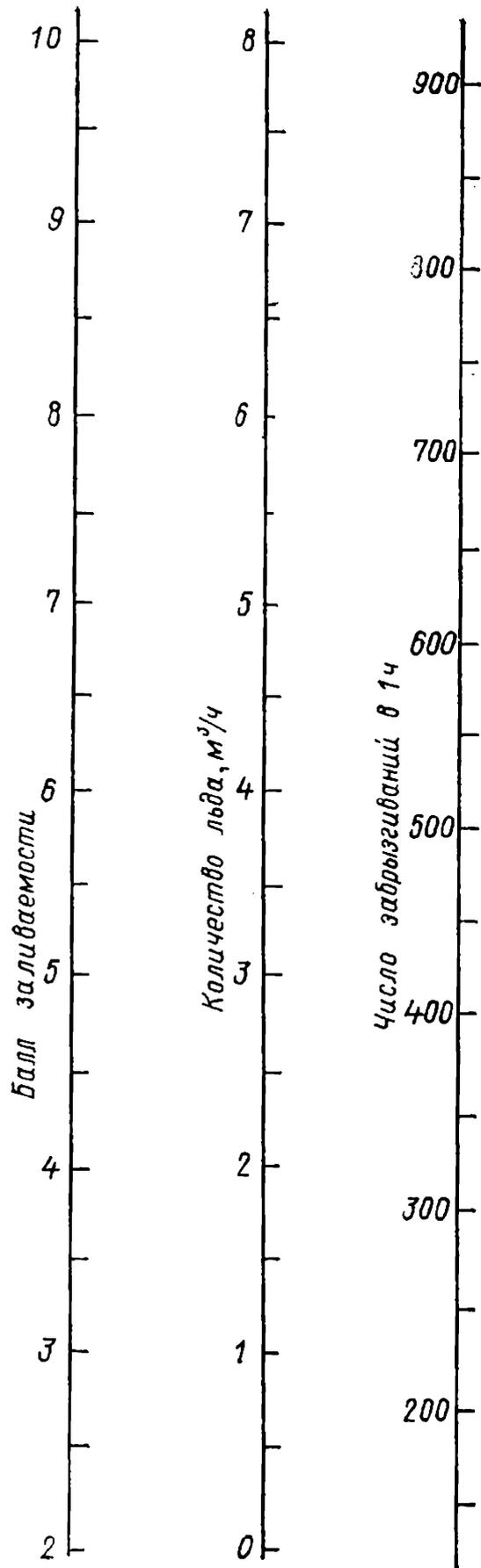


Рис. 8. Номограмма Н. Буянова для оценки интенсивности обледенения

судна (в районе брашпиля), в средней части (в районе фок-мачты) и в кормовой (в районе траловой лебедки). Из этих шести измерений вычисляют среднее значение  $N$ , которое вводят в график (рис. 10). Производя такие измерения через 1 ч, получают интенсивность обледенения. При этом надо не забывать

Таблица 6

Шкала заливаемости судна Н. Ф. Буянова

Балл	Забрызгивание	
	Частота	Характеристика
1	0	Нет брызг (штиль)
2	0	Брызги на палубу не попадают
3	1—4	» временами попадают на палубу » обливают
4	4—5	носовую палубу, нижнюю часть рангоута и такелажа
5	6—7	всю палубу, половину рангоута и такелажа
6	7—8	палубу, половину рангоута и такелаж, надстройку до стекол рубки
7	8—9	рангоут, такелаж, лобовую надстройку
8	9—10	всю надстройку и верхний мостик
9	10—11	Брызги перелетают через мостик на шлюпочную палубу
10	11 и более	через все судно

вычитать величины массы льда, образовавшегося час назад, и соответствующей средней толщины льда на планшире. Для измерения толщины льда избран планширь, так как на нем лед отлагается сразу же после начала обледенения и остается неразрушенным за все время нарастания. В других частях судна ледяная «каша» часто смывается водой. Для облегчения работы при замерах толщины льда возможно применение систем дистанционного измерения.

Существуют и другие методы оценки интенсивности обледенения. Один из них основан на введении понятия «суровость погоды», о котором уже говорилось в § 2. Рассчитанное по формуле (1) число  $N$  используют для определения интенсивности обледенения. По числу  $N$  с графика на рис. 11 выбирают интенсивность обледенения, которая возрастает с увеличением  $N$ . Коэффициент корреляции между критерием  $N$  и интенсивностью обледенения равен  $0,93 \pm 0,04$ . При умеренном снегопаде, уменьшающем видимость до 0,5—1,0 мили, интенсивность обледене-

ния увеличивается на 5—10%, а при сильном снегопаде, уменьшающем видимость до 2—3 кабельтовых, — на 10—20%. Объясняется это тем, что атмосферные осадки при брызговом обледенении увеличивают концентрацию частиц воды в воздухе. Кроме того, снежинки, замерзая быстрее соленой воды, играют роль ядер кристаллизации при нарастании льда от брызг [77]. Зависимость между числом  $N$  и интенсивностью обледенения, пред-

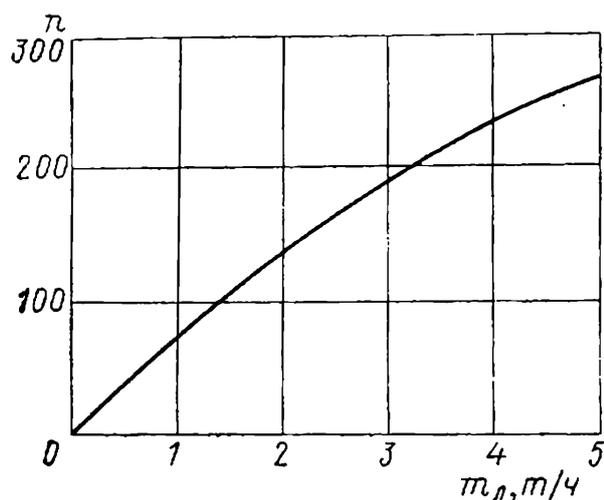


Рис. 9. Зависимость интенсивности обледенения судов типа СРТ от скорости кажущегося ветра и температуры воздуха

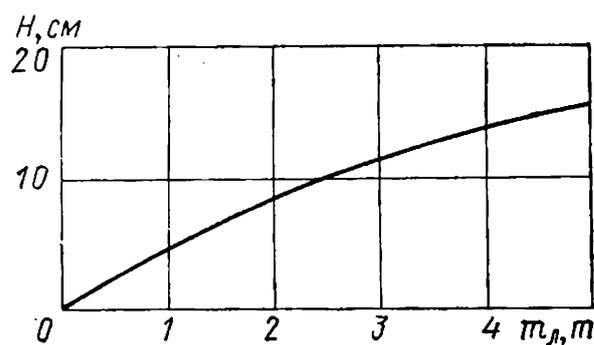


Рис. 10. Зависимость массы льда, образующегося на судне типа СРТ за 1 ч, от средней толщины льда на планшире

ставленная на рис. 11, справедлива лишь для судов, близких по размеру к СРТ, т. е. судов водоизмещением около 500 т, потому что дает количество нарастающего за 1 ч льда в целом по судну. Для более крупных судов эта зависимость, очевидно, будет иной.

Недостаток всех указанных методов состоит в том, что они разработаны применительно к небольшим рыбопромысловым судам и служат для расчета лишь общего количества льда, образующегося за 1 ч в целом по судну. Поскольку размер и тип судна существенно влияют на интенсивность ледообразования, оценка интенсивности обледенения других судов приведенными выше способами дает большие погрешности.

В связи с этим в ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова разработана универсальная методика расчета удельной интенсивности обледенения, суть которой заключается в следующем. Ледовая нагрузка дает дополнительный запас остойчивости, который создает всем судам примерно одинаковую степень безопасности. Поэтому суда, конструктивные особенности которых обеспечивают малую интенсивность обледенения, могут иметь меньший дополнительный запас остойчивости, и наоборот.

Такой принцип учета влияния индивидуальных особенностей судов на обледенение позволяет обеспечить разным судам одинаковую степень безопасности. Кроме того, он стимулирует поиск конструктивных решений, уменьшающих обледенение. В действующих Правилах Регистра СССР, созданных в то время, когда обледенение было изучено мало, индивидуальные особенности судов учтены недостаточно.

В методике ЦНИИ им. акад А. Н. Крылова рекомендуется рассчитывать массу льда для различных участков судна. Полу-

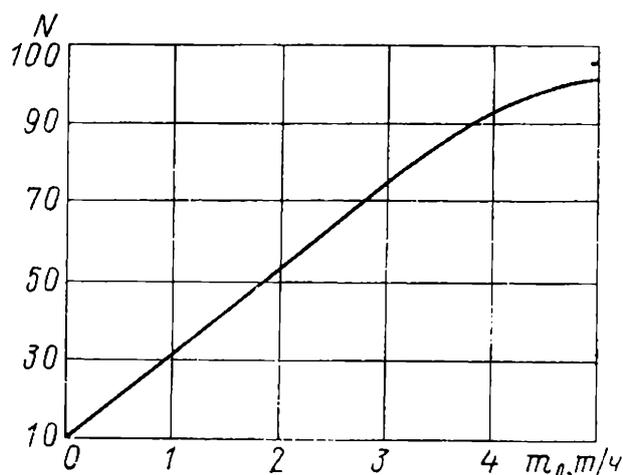


Рис. 11. Зависимость между «суровостью погоды» и интенсивностью обледенения

ченные массы льда и статические моменты суммируют и умножают на коэффициент  $\kappa$ , учитывающий отличие данного судна от судна, принятого в качестве базового по интенсивности обледенения. За базовое судно принят СРТ, обледенение которого хорошо изучено.

Соотношение удельных ледовых нагрузок в различных частях судна принято на основании анализа натуральных наблюдений. Величина этих нагрузок определена из условий сохранения прежних требова-

ний к остойчивости базового судна. Иными словами, суммарная ледовая нагрузка для базового судна сохранена примерно такой какова она в действующих Правилах Регистра СССР.

В результате получены следующие ледовые нагрузки: верхняя палуба — 40 кг/м<sup>2</sup>, фальшборт (площадь его проекции на диаметральной плоскость с одного борта) — 70 кг/м<sup>2</sup>, площади открытых участков палуб, надстроек и рубок, их боковые и фронтальные стенки — 10 кг/м<sup>2</sup>, габаритные площади леерных ограждений — 12 кг/м<sup>2</sup>, рангоут и такелаж — 3 кг/пог. м.

Основную опасность представляет брызговое обледенение, а главным фактором, влияющим на степень забрызгивания, является высота надводного борта в носовой части судна. С увеличением надводного борта забрызгивание уменьшается. В этом принципиальное отличие от действующих Правил Регистра СССР, согласно которым с повышением высоты надводного борта пропорционально увеличению площади парусности растет величина ледовой нагрузки. Интенсивность забрызгивания в описываемой методике измеряют произведением среднего числа

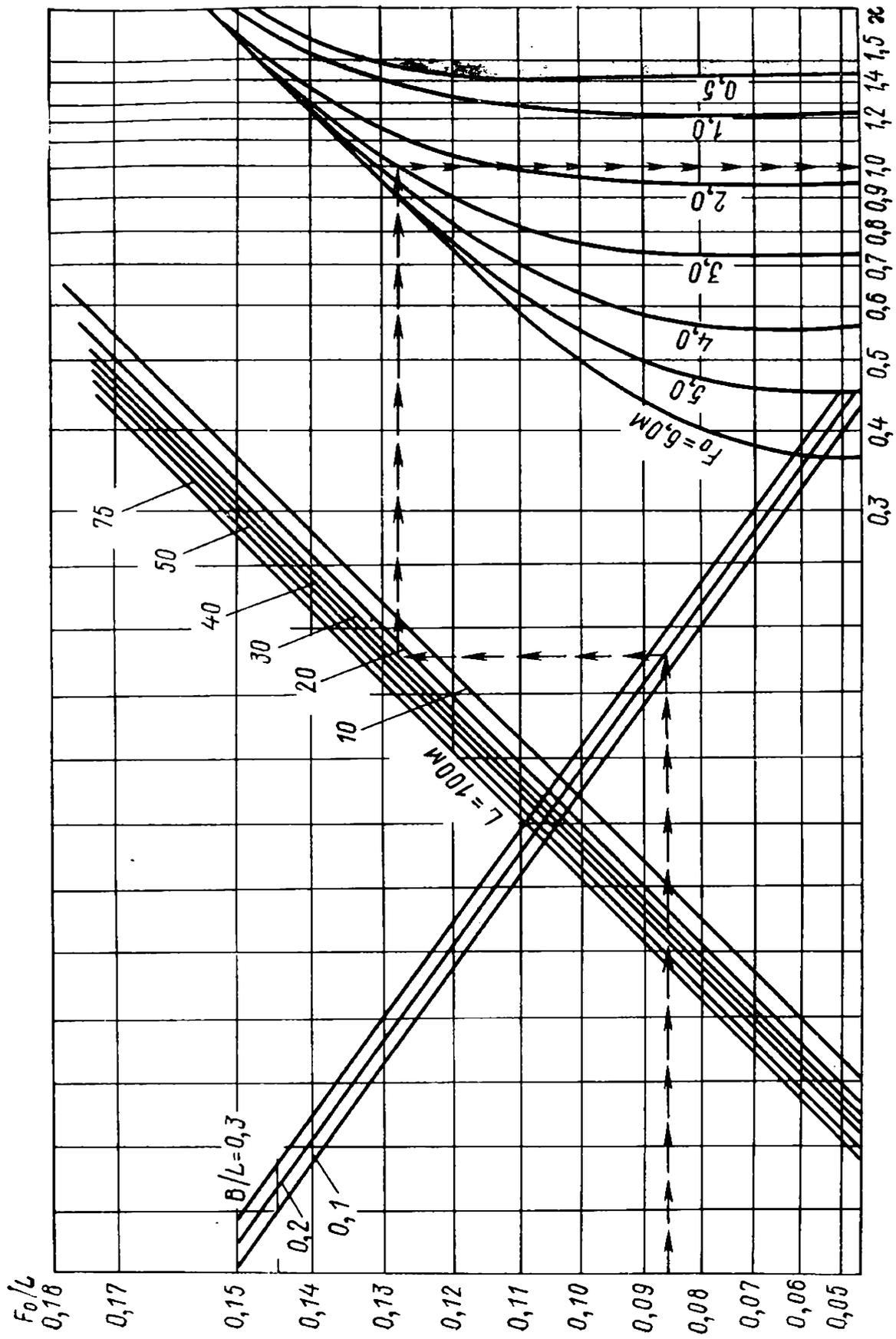


Рис. 12. Номограмма для определения коэффициента  $\alpha$

забрызгиваний в минуту на средний объем всплеска выше палубы или планширя фальшборта.

Введено понятие удельной интенсивности забрызгивания. Это — интенсивность забрызгивания, отнесенная к площади забрызгиваемой поверхности. Отношение удельной интенсивности забрызгивания данного судна  $q$  к удельной интенсивности за-

Таблица 7

Расчет массы льда и возвышения его ЦТ

Судно	$L_{11}$ м	$F_{0..}$ м	$\Delta$ м	Метод				
				предлагаемый			оговоренный Правилами Регистра СССР	
				$\kappa$	$m_{л'}$ т	$Z_{л'}$ м	$m_{л'}$ т	$Z_{л'}$ м
БМРТ «Алтай»	97,8	7,75	6393	1,2	60,7	12,23	61,5	12,28
СРТ-400	34,8	3,1	457	0,92	11,5	5,1	10,6	5,06
СРТ «Альпинист»	46,2	5,7	1124	0,41	7,2	7,8	20,3	7,92
СРТ «Бологое»	39,0	3,41	503	0,94	12,6	5,25	11,9	5,32
ПР «Палех»	73,0	6,38	3130	0,92	25,5	8,64	39,0	10,2
РС-300	30,0	3,35	263	0,70	6,7	4,7	8,4	4,7
МРТР	29,6	4,9	447	0,46	3,1	7,06	5,6	6,85
МРТК «Балтика»	22,0	3,61	149	0,64	4,3	4,34	6,0	4,34
МСТБ-150	12,9	1,87	37	0,97	2,4	2,57	2,2	2,5

брызгивания базового судна  $q_0$  дает некоторый коэффициент  $\kappa' = q/q_0$ .

Для СРТ на долю взаимодействия судна и волн принято 70% интенсивности забрызгивания, и на долю метеорологических причин — 30%. Обе эти составляющие учтены в предлагаемой методике.

Расчетная формула для получения отношения удельной интенсивности забрызгиваний данного и базового судна выглядит так

$$\kappa' = 0,3 \exp(3 - F_0) + 0,12 \sqrt{l} \exp \left[ -256,5 \left( \frac{F_0}{L} - 0,0228 \frac{B}{L} \right)^{3/2} \right] + 5,96, \quad (8)$$

где  $F_0$  — высота надводного борта на носовом перпендикуляре с учетом фальшборта, м;  $l$  — длина волны (при  $L > 100$  м

$l = 100$  м, при  $L \leq 100$  м  $l = L$ );  $L$  — длина судна между перпендикулярами, м;  $B$  — ширина судна, м.

В результате анализа установлено, что удельная интенсивность обледенения связана с интенсивностью забрызгивания за-



Рис. 13. Транспортное судно с характерно распределенным льдом

висимостью

$$\kappa = \sqrt[4]{\kappa'} . \quad (9)$$

Поскольку вычисления по формуле (8) громоздки, авторы методики предложили номограмму (рис. 12), с помощью которой нахождение  $\kappa$  значительно упрощается.

Ключ к пользованию номограммой показан стрелками. Входят в нее с отношением высоты борта в носовой части суда  $F_0$  к его длине  $L$  и идут последовательно к пересечениям с линиями  $B/L$ ,  $L$  и  $F_0$ .

Описанный выше метод снижает расчетную массу льда для высокобортных судов, что дает определенный экономический эффект, так как снижается количество необходимого балласта и увеличиваются возможности принятия дополнительных грузов в верхние помещения и на палубу. Результаты расчетов по оговоренному Правилами Регистра СССР и предлагаемому методам приведены в табл. 7.

Если судно обладает достаточным запасом остойчивости, можно применить упрощенный способ, основанный на предположении, что на площади парусности лед располагается выше палубы, т. е. надводный борт ниже палубы от него свободен. Основанием для такого предположения являются натурные наблюдения (рис. 13).

Расчетная масса льда на горизонтальных проекциях палуб и площади парусности принимается одинаковой и равной  $30 \text{ кг/м}^2$ . Момент по высоте от льда определяется по возвышениям ЦТ соответствующих обледеневающих поверхностей.

#### § 4. ГЕОГРАФИЯ РАЙОНОВ ОБЛЕДЕНЕНИЯ СУДОВ

Районы, в которых могут возникнуть гидрометеорологические условия, благоприятные для обледенения судов, ограничены по широте.

В Арктике северной границей районов возможного брызгового обледенения является кромка сплошного льда, потому что ледяные массивы препятствуют образованию волн на поверхности моря. Южная граница проходит там, где температура воздуха падает ниже  $-1,5^\circ\text{C}$  на достаточно продолжительное время года (10% и более). Температура замерзания морской воды зависит от солености. Она изменяется от  $-0,05^\circ\text{C}$  при 1‰ и до  $-1,92^\circ\text{C}$  при 35‰.

Зимой районы возможного обледенения охватывают обширные территории в северных морях: Гренландском, Норвежском, Северном, Балтийском, Баренцевом, Беринговом, Охотском, Японском, в бассейне Северного Ледовитого океана, а также в районе Антарктиды.

Весной отступление границ ледовых массивов происходит медленнее, чем продвижение изотерм на север, поэтому район возможного обледенения значительно сокращается, достигая минимума в летнее время.

Осенью ледовые массивы отступают к югу медленнее перемещения изотерм. В результате районы обледенения становятся такими же большими, как и зимой, а иногда даже больше.

Наиболее часто обледенение судов в субарктических районах, однако случаи обледенения наблюдались не только в морях высоких широт, но и в таких, как Каспийское, Азовское и Черное. В частности, отмечены случаи сильного обледенения в северо-восточной части Черного моря, в районе Новороссийска, где наблюдаются сильные местные ветры (бора). Так, на Черном море в январе 1977 г. сильному обледенению подвергся пассажирский теплоход «Колхида», совершавший рейс Одесса — Батуми. Высота волн достигала 5—6 м, а скорость ветра доходила до 40 м/с. Температура воздуха понизилась до  $-13^{\circ}\text{C}$ . В результате забрызгивания надстройки, палубы и мачты покрылись слоем льда толщиной более 50 мм. В течение 2 сут экипаж производил сколку льда. От сильного обледенения 29 января 1963 г. на Черном море затонуло болгарское судно «Галата» со всем экипажем. В декабре 1969 г. по пути в Одессу подверглось сильному обледенению болгарское пассажирское судно «Несебр», которое только благодаря умелому управлению смогло благополучно завершить рейс [17].

Наиболее часто тяжелое обледенение происходит в следующих районах: в Баренцевом море от северных берегов Норвегии и Кольского полуострова до Шпицбергена; в Северной Атлантике у восточных берегов Исландии и Канады; в Охотском море и северной части Японского моря; в районе Курильских островов; у восточных и западных берегов Камчатки; в Беринговом море у берегов Аляски [50]. Если произвести статистическую оценку случаев обледенения в морских бассейнах за трехлетний период (%), то получится следующая картина:

Баренцево и Норвежское моря . . . . .	34,5
Берингово море . . . . .	25,5
Охотское море . . . . .	18,0
Западная часть Тихого океана . . . . .	10,5
Японское море и Татарский пролив . . . . .	8,1
Балтийское море . . . . .	2,4
Черное и Азовское моря . . . . .	1,0
Итого . . . . .	100,0

В работе [13] дана информация о количестве случаев обледенения судов по районам:

Баренцево и Норвежское моря . . . . .	877 (38,6%)
Охотское море . . . . .	571 (25,2%)
Берингово море . . . . .	437 (19,3%)
Западная часть Тихого океана . . . . .	182 (8,0%)
Японское море и Татарский пролив . . . . .	140 (6,2%)
Балтийское море . . . . .	44 (1,9%)
Черное море . . . . .	18 (0,8%)
Итого . . . . .	2269 (100,0%)

Таким образом, существенного расхождения в оценке авторами возможности обледенения судов в определенных бассейнах нет.

Наиболее достоверные сведения о районах и сезонах возможного обледенения судов можно получить из специальных атласов. Однако эти атласы на судах не всегда есть, и для ориентировочного представления можно использовать сроки возможного обледенения судов в различных районах Мирового океана, представленные в работе [19]:

Северо-западная Атлантика . . . . .	15 декабря — 15 марта
Норвежское и Гренландское моря . . .	15 декабря — 31 марта
Северная Атлантика . . . . .	15 января — 15 апреля
Баренцево море . . . . .	1 декабря — 15 марта
Балтийское море . . . . .	15 декабря — 29 февраля
Море Баффина и Гудзонов залив . . .	1 декабря — 31 марта
Район Ньюфаундленда . . . . .	1 января — 15 марта
Берингово море . . . . .	1 декабря — 31 марта
Охотское море . . . . .	1 декабря — 31 марта
Японское море . . . . .	1 декабря — 29 февраля
Северо-западная часть Тихого океана	15 декабря — 31 марта
Арктические моря (Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское) . . .	15 июня — 15 ноября

Вряд ли можно установить границы районов возможного тяжелого обледенения по какой-либо из параллелей. Карты границ обледенения строят по изолиниям вероятности возникновения обледенения на основе гидрометеорологических комплексов, при которых оно возможно, а изолинии имеют криволинейный характер и не совпадают с параллелями [3].

Обледенение может происходить в различных синоптических ситуациях: в тыловых или передних частях циклонов и антициклонов. Чаще всего (53% случаев) оно наблюдается в тыловой части хорошо развитых глубоких циклонов. Реже (33% случаев) в передних частях циклонов, в зонах тепловых фронтов. В отдельных случаях обледенение возникает и вблизи центра циклона или в передней части мощного антициклона [70].

В различных бассейнах условия, способствующие обледенению, могут отличаться. Например, в Японском море зимой обледенение судов происходит часто в передней части сибирского антициклона, а в Беринговом море — в тылу циклонов.

Судоводители должны знать, в каких синоптических условиях возможно обледенение, с тем чтобы заблаговременно подготовиться к борьбе с ним или, возможно, даже избежать его, уйдя своевременно из опасного района.

---

---

## Глава II. Влияние обледенения на мореходные качества судов

### § 5. УМЕНЬШЕНИЕ ЗАПАСА ПЛАВУЧЕСТИ

Образующийся на судне лед, по существу, является дополнительно принимаемым грузом. Он вызывает увеличение осадки и уменьшение запаса плавучести. Непосредственно от потери плавучести судна вследствие обледенения аварий не зафиксировано. Однако сокращение надводного борта усиливает заливаемость палубы и ухудшает всхожесть на волну. В результате возрастает риск штормовых повреждений, увеличивается вероятность проникновения воды во внутренние помещения и затрудняется работа на палубе.

Общее количество льда, образующегося на судне, зависит от интенсивности обледенения, площади обледеневающих поверхностей и продолжительности обледенения.

Площадь судовых поверхностей, подвергающихся обледенению, зависит от типа судна. При брызговом обледенении на нее влияют скорость и курс судна относительно ветра и волн, так как они в значительной степени определяют степень забрызгивания.

В натуральных условиях величина общей массы льда на малых рыболовных судах иногда достигает 10—12% водоизмещения. На более крупных судах, например крупнотоннажных промысловых рефрижераторах, масса льда даже при сильном обледенении не превышает 8% водоизмещения [10].

На СРТМ «Меркурий», например, в проливе Скагеррак масса льда достигла 8,5% водоизмещения до начала обледенения [59].

Во время наблюдений, проводившихся в 1968—1972 гг. в северной части Японского моря, у восточных берегов Камчатки, в Беринговом море и в северной части Тихого океана, имели место 16 случаев обледенения СРТМ-8434, во время которых общая масса льда на судне составляла от 12,4 до 51,0, т. е. от 1,5 до 6,4% водоизмещения [24].

Примерно в этот же период в Баренцевом море проводились наблюдения за обледенением СРТМ «Алаид». Общая масса льда на нем составляла 12,3 т, или около 1,5% водоизмещения.

На судах типа СРТ, имеющих меньшее водоизмещение (порядка 430—460 т), наблюдения проводились в Баренцевом море (СРТ «Профессор Сомов») и в Дальневосточном бассейне (СРТ «Академик Бер»). На судне «Профессор Сомов» зафиксирована масса льда, равная 11,1—28,4 т, т. е. приблизительно 2,5—6,5% водоизмещения, на СРТ «Академик Бер» — 21,2 т, или 4,7% [61].

СРТ «Пярну», совершая экспериментальный рейс 7—9 февраля 1969 г., в районе Таллина подвергся сильному обледенению. Ветер достигал 8 баллов, а в порывах до 10 баллов; температура воздуха была  $-7^{\circ}\text{C}$ . Статический крен судна составлял  $5,5^{\circ}$ . Всего на СРТ намерзло 54 т льда, что составляло около 12% его водоизмещения (по возвращению судна в порт было проведено кренование и замеры льда). На наружных поверхностях бортов льда не оказалось. Толщина льда на судовых конструкциях в носовой части достигала 0,5 м. Высота обледенения фока-штагов равнялась 6 м от уровня палубы. Диаметр ледяных наростов на штагах около их основания увеличивался до 0,5 м. Особенно сильное обледенение наблюдалось 9 февраля, когда лед нарастал со скоростью 4,5—5,0 т/ч. Масса льда на судне в пять раз превышала расчетную величину, предусмотренную Нормами Регистра СССР [64].

Такое обледенение отмечалось и на некоторых японских судах. На одном из них при водоизмещении 350 т масса льда достигла 38 т, т. е. более 10% водоизмещения. На японских судах «Сарати», «Цугари», «Юбари», «Яхико Мару» и «Титосэ» за трехлетний период наблюдений относительное количество льда в среднем оказалось равным примерно 5% водоизмещения. Основные размерения упомянутых судов приведены в табл. 8.

Во всех описанных случаях тяжелого обледенения опасности потери плавучести судов не возникало. Это объясняется тем, что высота надводного борта многих советских промысловых судов, наиболее часто подвергающихся обледенению, превышает требуемую Правилами Регистра СССР: СРТ на 46%, СРТР — 122%, РТМ — 128%, а БРТМ даже в 5—6 раз [22].

Запас плавучести транспортных судов даже при загрузке по грузовую марку также остается достаточно большим: порядка 17—40%. В абсолютных цифрах это справедливо для судов, на которых при таком обледенении масса льда составляет 800—2000 т [27].

Лед обладает определенным запасом плавучести. Однако это не учитывается в расчетах, так как обледеневшие части судна

(надстройки, рубки, рангоут и т. п.) входят в воду при больших углах крена, создающих аварийную ситуацию, что может сопровождаться проникновением воды внутрь корпуса судна.

Таблица 8

Характеристики некоторых советских и японских судов, подвергавшихся в процессе исследований обледенению

Суда	Водоизмещение, т	Длина, м	Ширина, м	Высота борта, м	Скорость, уз
Советские:					
СРТ «Академик Бер»	446	39,5	7,3	3,5	9
СРТМ-8434	899	54,2	9,3	6,0	12
СРТМ-8482	937	54,2	9,3	4,7	11
СРТ «Полярник»	456	38,5	7,2	3,5	9
СРТ «Айсберг»	418	39,2	7,3	3,5	8
СРТ «Профессор Сомов»	459	39,2	7,3	3,5	8
СРТМ «Аланд»	908	54,2	9,3	4,7	12
СРТ «Пярну»	462	39,2	7,3	3,5	9
«Маяк» (экспедиционное)	800	39,0	7,0	5,0	9
«Бдительный» (спасательное)	1460	56,5	11,5	5,6	13,4
Японские:					
«Сарати»	421,4	45,0	7,3	4,1	—
«Цугари»	986,8	72,5	9,1	4,1	—
«Юбари»	420,6	45,0	7,3	4,1	—
«Яхико Мару № 6»	139,3	24,9	5,0	2,5	—
«Титосэ»	457,2	45,0	7,3	4,1	—
Примечание. Водоизмещение японских судов дано при $\frac{2}{3}$ запасов.					

## § 6. УХУЖДЕНИЕ УПРАВЛЯЕМОСТИ

Образовавшийся на судне лед может оказывать влияние на управляемость. Вследствие неравномерного распределения льда по длине судна часто происходит изменение его продольной посадки. При брызговом обледенении эта неравномерность особенно резко выражается. Как правило, наибольшее количество льда (иногда до  $\frac{2}{3}$  общей массы) откладывается на носовой оконечности, что приводит к значительному изменению дифферента. Например, у одного из крупнотоннажных рефрижераторов изменение дифферента вследствие обледенения достигло 1,65 м, его начальный дифферент составлял 0,70 м на корму, а конечный достиг 0,95 м на нос [10].

Столь значительные изменения посадки не всегда имеют место, однако даже при умеренном обледенении небольших судов дифферент меняется на ощутимую величину. В табл. 9 приведены фактические изменения посадки СРТ «Профессор Сомов» при обледенении [60].

Таблица 9

Осадки и дифференты СРТ «Профессор Сомов»

Дата	До обледенения			После обледенения			Общая масса льда на судне, т
	Осадка, м		Дифферент, м	Осадка, м		Дифферент, м	
	носом	кормой		носом	кормой		
29.01	2,41	3,05	0,64	2,59	3,03	0,44	14,3
2.02	2,48	2,97	0,49	2,64	2,98	0,34	12,5
6.02	2,27	3,05	0,78	2,61	3,01	0,40	28,4
11.02	2,47	2,95	0,48	2,70	2,93	0,23	18,2
12.02	2,44	2,94	0,50	2,57	2,95	0,38	11,1

Как видно из табл. 9, они составляли от 0,12 до 0,38 м, т. е. от 24 до 52% начального дифферента.

Взаимосвязь между общей массой образовавшегося на судне льда  $m_{л}$  и относительной величиной уменьшения дифферента  $d_{н-к}$  на корму (рис. 14) проявляется вполне определенно. Однако отсутствие достаточных статистических данных (проведено всего пять наблюдений) не позволяет сделать обоснованных выводов.

Как известно, посадка большинства судов с дифферентом на нос затрудняет управление. Кроме того, в этом случае ухудшается всхожесть судна на волну и усиливается заливаемость палубы.

Лед, образовавшийся на рангоуте и такелаже, создает в носовой части дополнительную парусность, усиливающую стремление судна «уваливаться» под ветер. Это может способствовать развороту судна лагом к волнам, т. е. привести его в опасное положение.

Достаточно достоверными данными, позволяющими судить о закономерности увеличения парусности и смещения центра парусности вследствие обледенения, мы пока не располагаем. Известно, однако, что в результате обледенения сечения деталей рангоута, такелажа и палубных устройств в носовой части судна существенно увеличиваются.

На японских судах, например, зафиксировано увеличение толщины поручней и тросов в результате обледенения до 35 см, а иногда и более. Диаметр штагов погибшего в 1965 г. СРТ «Бокситогорск» достигал со льдом 1,5 м [73].

Возрастание парусности за счет обледенения рангоута и такелажа усугубляется тем обстоятельством, что на цилиндрических поверхностях диаметром меньше 0,5 м интенсивность обледенения значительно выше, чем на плоских поверхностях. Как известно, при увеличении парусности ухудшается остойчивость судна вследствие возрастания кренящего момента от ветра. Подробнее об этом будет идти речь в § 7.

Влияние обледенения на управляемость судна изучено мало. Основное внимание уделялось прежде всего изучению влияния обледенения на остойчивость судна. Однако анализ материалов аварий от обледенения показывает, что опрокидыванию часто предшествует разворот судна лагом к волнам. Можно утверждать, что немаловажную роль играет при этом увеличение парусности носовой оконечности судна, штормующего самым распространенным способом: носом на волну. Следует отметить, что изменение дифферента может, в свою очередь, способствовать ухудшению остойчивости судна, которая в условиях обледенения и без того значительно уменьшается.

## § 7. СНИЖЕНИЕ ОСТОЙЧИВОСТИ

Если уменьшение запаса плавучести и ухудшение управляемости от обледенения создает для судна лишь предпосылки для возникновения опасности, то снижение остойчивости влечет за собой реальную угрозу опрокидывания и является основной причиной гибели судов от обледенения.

Характеристики остойчивости при обледенении ухудшаются прежде всего из-за повышения ЦТ судна. Определенную роль играет также рост кренящих моментов от действия ветра в ре-

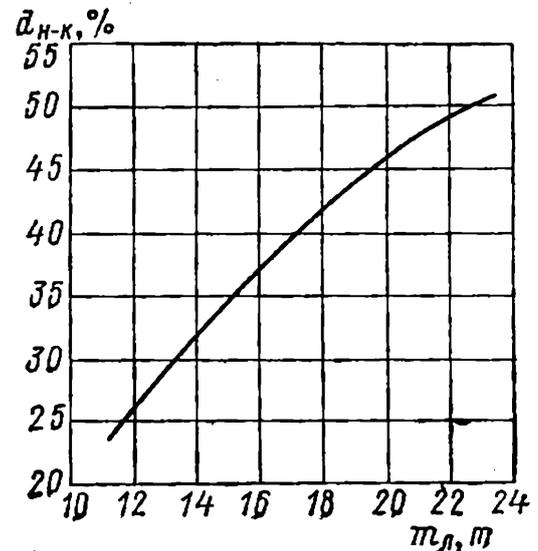


Рис. 14. Зависимость между общей массой льда на судне и относительной величиной уменьшения дифферента на корму по наблюдениям, проведенным в 1969 г. на СРТ «Профессор Сомов»

зультате увеличения парусности  $A_v$ . В некоторых случаях отрицательное влияние оказывает также изменение дифферента.

Как показали натурные наблюдения, площадь парусности после прекращения обледенения составляет 1,04—1,13 площади

Таблица 10

Показатели устойчивости СРТ при обледенении

Характеристика	Масса льда на судне, т						
	0	10,8	21,6	32,4	43,2	54,0	64,8
$\Delta$ , т	383,8	398,0	408,8	419,6	430,4	441,2	452,0
$d_{ср}$ , м	2,62	2,68	2,73	2,78	2,83	2,88	2,92
$z_g$ , м	3,09	3,12	3,18	3,22	3,27	3,31	3,36
$h_0$ , м	0,56	0,52	0,45	0,40	0,34	0,29	0,24
$l_m$ , м	0,221	0,195	0,155	0,128	0,099	0,075	0,052
$\theta_v$ , °	70	70	70	68,5	59	49	43
$M_c$ , т·м	43,8	40,2	31,5	26,0	18,5	12,3	79,7
$A_v$ , м <sup>2</sup>	151,5	157,0	170,5	183,1	195,6	208,1	224,9
$M_{кр}$ , т·м	34,3	36,7	42,7	48,6	54,4	60,1	65,4
$K$	1,28	1,10	0,74	0,54	0,34	0,21	0,12
$T_\theta$ , с	7,8	8,1	8,7	9,2	10,0	10,8	11,9

сплошных поверхностей, а величина статического момента относительно ватерлинии 1,13—1,26 статического момента сплошных поверхностей при массе льда 30 т, что соответствует Нормам Регистра СССР. При массе льда 54 т отношение площади парусности к площади сплошных поверхностей уже 1,2, а соответствующих статических моментов около 1,3 [50].

По японским данным, угроза опрокидывания возникает, если масса льда на судне превышает 10% его водоизмещения. Эта цифра весьма приближенная, так как зависит от типа судна, его размеров и первоначального запаса устойчивости.

При обледенении возрастает водоизмещение судна  $\Delta$  и, следовательно, его средняя осадка  $d_{ср}$ , так как ЦТ дополнительного груза (т. е. льда) располагается выше палубы, что приводит к повышению общего ЦТ судна. Это влечет за собой уменьшение метацентрической высоты и ухудшение всех параметров диаграммы статической устойчивости: углов максимума диаграммы  $\theta_m$  и заката  $\theta_v$ , ее максимального плеча  $l_m$ .

Период  $T_\theta$  и амплитуда бортовой качки растут по мере увеличения массы льда, а опрокидывающий момент уменьшается. Кренящий момент от действия ветра возрастает за счет увели-

чения парусности и повышения центра парусности  $z_n$ . Отсюда происходит уменьшение величины критерия погоды или основного критерия:

$$K = \frac{M_c}{M_{кр}}, \quad (10)$$

где  $M_c$  — опрокидывающий момент, т·м;  $M_{кр}$  — кренящий момент от действия ветра, т·м.

Степень изменения всех указанных величин в зависимости от массы образовавшегося на судне льда хорошо иллюстрируется данными, сведенными в табл. 10 [60] и 11.

Таблица 11

Показатели устойчивости японского судна «Яхико Мару № 6» при обледенении

Характеристика	До	После	Характеристика	До	После
	обледенения			обледенения	
$\Delta$ , т	139,33	145,17	$\theta_m$ , °	29,5	27,0
$d_{ср}$ , м	2,08	2,14	$\theta_v$ , °	50,5	46,4
$d_{н-к}$ , м	1,48	1,34	$A_v$ , м <sup>2</sup>	83,5	85,0
$z_g$ , м	2,20	2,25	$z_n$ , м	2,84	2,89
$h_0$ , м	0,21	0,15	$T_\theta$ , с	9,69	11,4
$l_m$ , м	0,15	0,11			

Табл. 10 рассчитана применительно к судну, возвращающемуся с промысла и имеющему на борту 10% судовых запасов, 20% улова в трюме и 70% соли. Масса льда 10,8 т соответствует величине, допустимой по Нормам устойчивости Регистра СССР, а остальные колонки составлены при их двух-, трех-, четырех-, пяти- и шестикратном превышении. Такое превышение, как показывает практика, возможно.

По наблюдениям капитанов советских траулеров, ведущих промысел в осенне-зимний сезон в северных и дальневосточных морях, на низкобортовых судах (длина — 38,8 м, ширина — 7,2 м, высота борта — 3,5 м, осадка — 2,8 м, водоизмещение — 450 т) количество льда, намерзающего в штормовых условиях в течение 1 ч, иногда достигает 25 т.

Неоднократно фиксировались случаи образования на рыбопромысловом судне до 50 т льда и более. Такая масса льда оказалась на СРТ «Пярну» во время экспериментального рейса в Балтийском море близ Таллина (табл. 12) [64]. Диаграммы ста-

тической остойчивости СРТ «Пярну» приведены на рис. 15.

В отдельных случаях обледенения от брызг и водяной «пыли» в Беринговом море при ураганных ветрах, когда скалывать лед нет возможности или намерзание происходит быстрее, чем сколка, на судах скапливается до 40—50 т снежно-ледовой

Таблица 12

Показатели СРТ «Пярну»

Характеристика	Остойчивость		
	без обледенения	в пределах Норм Регистра СССР	фактическая
$\Delta$ , т	453,7	464,4	507,7
$m_{л}$ , т	—	10,7	54,0
$d_{ср}$ , м	2,98	3,03	3,23
$z_g$ , м	2,83	2,88	3,15
$z_g$ критич., м	3,05	3,04	3,04
$h_0$ , м	0,76	0,71	0,45
$l_m$	0,370	0,330	0,109
$\theta_m$ , °	58,5	56,0	44,0
$\theta_v$ , °	80	80	76
$A_v$ , м <sup>2</sup>	140,62	138,82	131,52
$z_{п}$ , м	2,48	2,46	2,39
$\rho$ , т/м <sup>2</sup>	124,68	124,36	123,24
$M_{кр}$ , т·м	43,4	42,4	38,7
$\theta_k$ , °	15,0	14,5	11,2
$l_{опр}$ , м	0,210	0,181	0,059
$M_c$ , т·м	95,2	84,0	29,9
$K$	2,19	1,98	0,77

массы. Крен при этом достигает 60°, и палуба более чем на 1 м входит в воду. В таких тяжелых условиях удастся избежать аварии только благодаря умелому управлению судном и самоотверженной борьбе экипажа. Немаловажно при этом обеспечить водонепроницаемость корпуса и надстроек, а также запас плавучести второго яруса надстроек и рубок.

Приведенные выше данные следует рассматривать лишь как частный случай, так как характер распределения льда по высоте, длине и ширине судна может быть различным в зависимости от скорости судна, КУ по отношению к волне и гидрометеорологических условий обледенения.

Результаты экспериментов на моделях показали, что при движении под КУ к ветру 30° лед образуется с наветренного

борта и быстро создает крен на этот борт. В результате ускоряется образование льда на верхних участках рангоута и такелажа, отчего модель опрокидывается при массе льда в два раза меньшей, чем при положении модели носом на ветер [86].

Расчеты, выполненные в работе [79] для СРТ и сейнера, подтверждают существенное влияние асимметрии ледовой на-

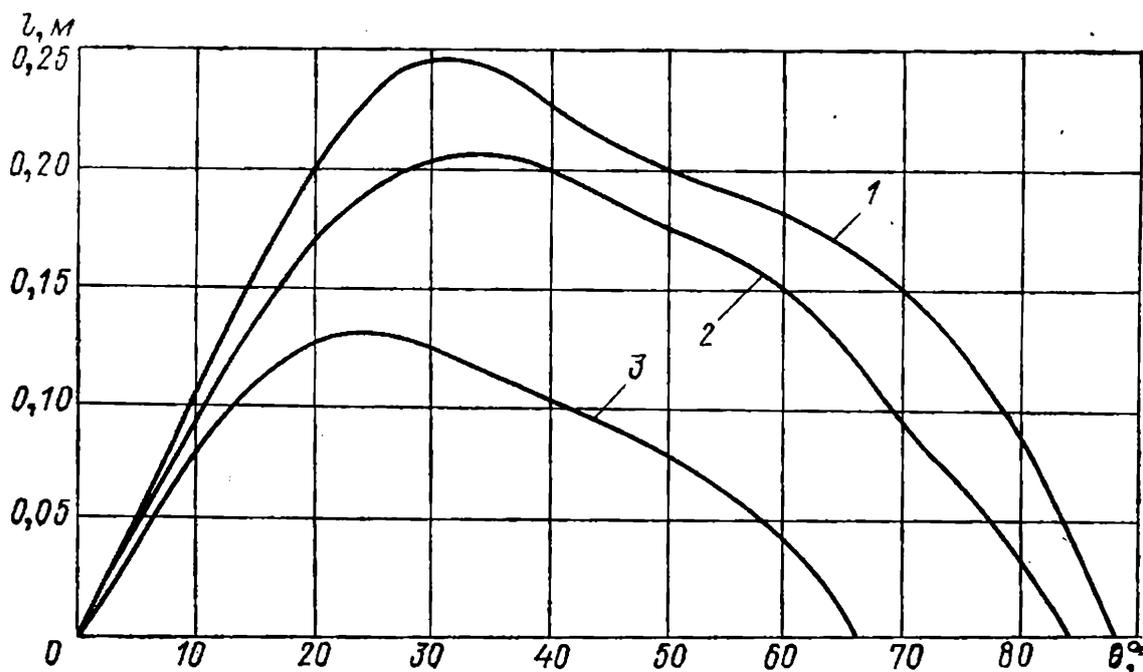


Рис. 15. Диаграмма статической остойчивости СРТ «Пярну».  
1—без обледенения; 2—при обледенении в пределах, допускаемых Нормами Регистра СССР; 3—при фактическом обледенении

грузки. На рис. 16 и 17 приведены графики зависимости ветростойкости судна в положении лагом к волне от массы образовавшегося льда и возвышения его ЦТ при симметричном и несимметричном обледенении. Расчет выполнен для судна со следующими главными элементами: длина наибольшая — 39,15 м, длина между перпендикулярами — 34,79 м, ширина — 7,3 м, высота борта — 3,49 м, осадка средняя — 2,85 м, водоизмещение — 430 т. На рис. 16 показано изменение ветростойкости судна типа СРТ в зависимости от массы образовавшегося льда  $m_{\text{л}}$  и возвышения ее ЦТ  $z_{\text{л}}$  при симметричном обледенении. Исходное водоизмещение принято равным 380 т, а исходное возвышение ЦТ судна 3,0 м.

На рис. 17 показано влияние асимметрии ледовой нагрузки на ветростойкость СРТ. При тех же исходных значениях  $\Delta = 380$  т и  $z_{\text{г}} = 3$  м величина  $z_{\text{л}} = 5$  м. Для этих условий приняты смещения ЦТ льда на различные расстояния от диаме-

тральной плоскости судна (рис. 17). Пунктиром показано изменение ветростойкости при смещении ЦТ всего судна.

Наиболее существенное влияние на остойчивость судна при обледенении оказывает общее повышение ЦТ. Значение аппликаты ЦТ льда может превысить величину, допускаемую Нормами остойчивости Регистра СССР. Это наглядно иллюстри-

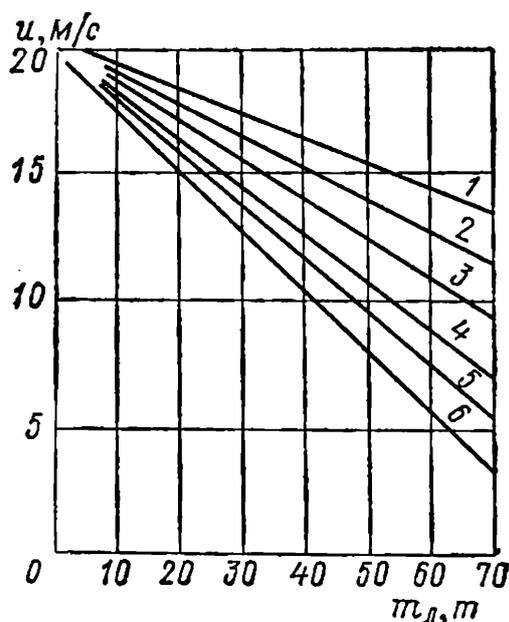


Рис. 16. Зависимость ветростойкости СРТ от возвышения ЦТ ледовой нагрузки при симметричном обледенении.

1— $z_{л}=4$  м; 2— $z_{л}=4,5$  м; 3— $z_{л}=5$  м; 4— $z_{л}=5,5$  м; 5— $z_{л}=6$  м; 6— $z_{л}=6,5$  м

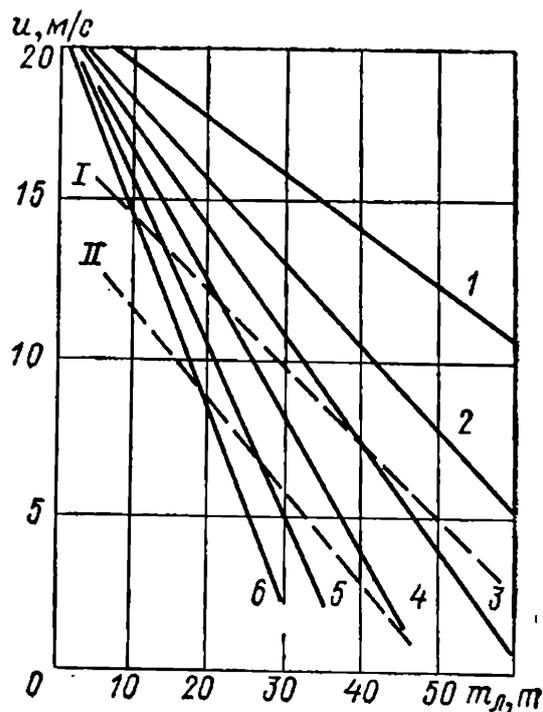


Рис. 17. Зависимость ветростойкости СРТ от возвышения ЦТ ледовой нагрузки при асимметричном обледенении: I—0,05 м; II—0,1 м.

1—0 м; 2—0,25 м; 3—0,5 м; 4—1 м; 5—1,5 м; 6—2 м

руется рис. 18, на котором сплошной линией обозначено изменение значения аппликаты ЦТ в соответствии с Нормами остойчивости при массе льда 10,5 т и статическом моменте — 56,4 т·м. Цифрами отмечены аппликаты ЦТ при различных ледовых нагрузках. График рассчитан по результатам натурных наблюдений, проведенных в 1969 г. на СРТ «Академик Бер» [36].

Важный вывод, к которому приводит анализ характера кривых на рис. 19, заключается в том, что аппликата ЦТ судна зависит от первоначального водоизмещения.

С ростом общего количества льда, образующегося на судовых поверхностях, происходит перераспределение относительных

величин статических моментов. Если, например, в начальный период обледенения бóльший статический момент дает лед на палубе, то позже наиболее значительным становится статический момент от льда на такелаже и рангоуте. Для некоторых конструкций (палубные механизмы и надстройки) значение статического момента в процессе обледенения практически не меняется. Это наглядно показано на рис. 19 [36].

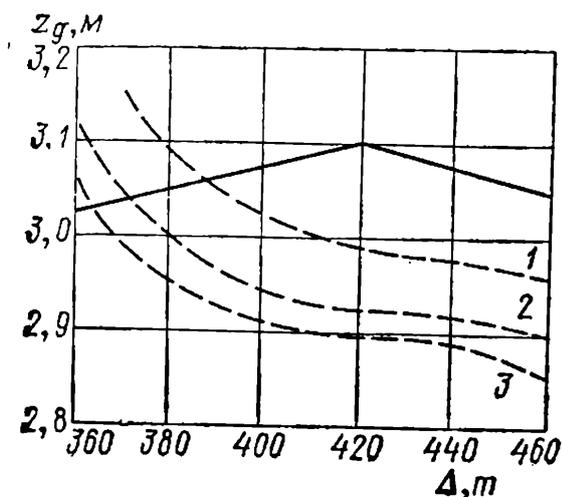


Рис. 18. Изменение положения ЦТ СРТ при различных ледовых нагрузках.  
1—8,1 т; 2—13,7 т; 3—21,6 т

Статический момент массы льда относительно основной плоскости является постоянной величиной для данного судна и не зависит от условий обледенения. Повышение ЦТ льда в процессе обледенения происходит в основном за счет увеличения относительного количества льда на рангоуте и такелаже.

На палубе образуется много льда, но его ЦТ всегда не менее чем на 0,5 м ниже общего ЦТ ледовой нагрузки на судне.

Влияние обледенения на остойчивость существенно сокращается при увеличении размеров судов. По данным Н. Ф. Воеводина, для танкера водоизмещением 47 тыс. т обледенение в пределах, допускаемых Нормами Регистра СССР, уменьшает опрокидывающий момент и максимальное плечо диаграммы статической остойчивости примерно на 3%. Угол заката диаграммы снижается всего на несколько градусов [15].

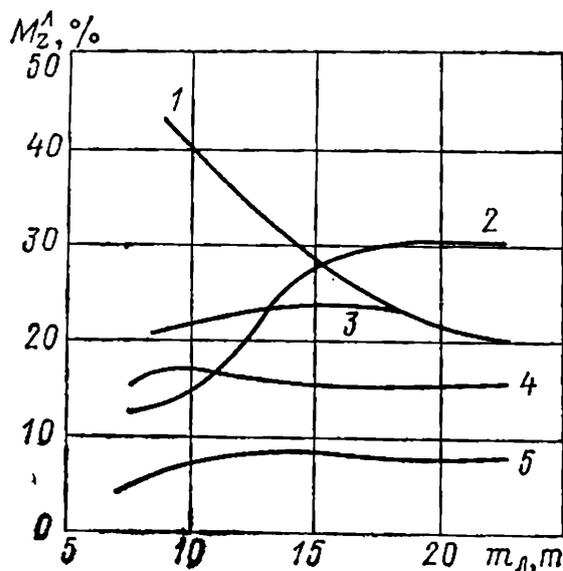


Рис. 19. Зависимость статического момента массы льда на отдельных конструкциях от общей ледовой нагрузки. Кривые обозначают статические моменты ледовой нагрузки.

1—палубы; 2—такелажа и рангоута; 3—фальшборта; 4—палубных устройств и механизмов; 5—надстройки

---

---

## Глава III. Аварии морских судов от обледенения

### § 8. АВАРИИ ПРОМЫСЛОВЫХ СУДОВ

История мореплавания знает случаи не только одиночной, но и массовой гибели судов от обледенения. Вот некоторые из них.

Зимой 1931 г. в Баренцевом море во время промысла без вести пропали три траулера. В результате проведенного расследования наиболее вероятной причиной их гибели признано обледенение. Суда были построены в 1929 г. и имели неограниченный район плавания. Длина каждого из них составляла 43,5 м, ширина — 7,85 м, осадка — 3,5 м, высота борта — 4,5 м, водоизмещение — 666 т, мощность машины — 2000 л. с., скорость — 11 уз. Суда имели малый надводный борт и высокий фальшборт, вдоль которого укладывались сети. В случае обмерзания шпигатов и этих сетей попадавшая на палубу вода не могла стекать за борт. Это позволяет предположить, что произошло опрокидывание судна в результате заливания палубы волнами [55].

Во время штормового ветра в Новороссийской бухте 3 февраля 1954 г. началось сильное обледенение судов при температуре воздуха — 17°С, в результате которого затонул рыболовный бот. Об интенсивности обледенения в бухте можно судить по тому, что толщина льда на некоторых участках набережной достигла 2 м [43].

Английский траулер «Лорелла» валовой вместимостью 559 рег. т опрокинулся вследствие обледенения 26 января 1955 г. в 90 милях к северо-северо-востоку от Исландии. В момент гибели судна северо-восточный ветер достигал 8—10 баллов с усилением иногда до 11 баллов. Высота волн составляла около 12 м.

Через 2 ч в том же районе погиб более крупный английский траулер «Родериго». Обледенение продолжалось около суток, и масса льда, образовавшегося на судовых конструкциях выше главной палубы, составляла не менее 50 т. Водоизмещение «Родериго» — 1115 т, валовая вместимость — 810 рег. т, длина — 54,86 м, ширина — 9,3 м.

5 марта 1955 г. в Охотском море обнаружили плавающий вверх килем рыболовный траулер «Т». Опрокидывание произошло приблизительно в 30 милях от мыса Лопатки. В момент обнаружения погибшего судна наблюдалось сильное волнение при

ветре до 11 баллов с обледенением. Через некоторое время опрокинутое судно потеряли из виду. Основные размерения траулера: длина между перпендикулярами — 34,8 м, ширина — 7,2 м, высота борта — 3,49 м, осадка — 2,65 м, водоизмещение — 389 т. Вероятная причина опрокидывания по заключению комиссии — потеря остойчивости в результате обледенения [67].

В Охотском море рыболовный логгер 3 декабря 1956 г. во время шторма подвергся сильному обледенению. Через 3 ч крен от образовавшегося льда достиг 18°. Только после того как судно укрылось от ветра и волнения за мыс, обледенение прекратилось и удалось начать сколку льда, которая продолжалась 12 ч [20].

В феврале 1959 г. в районе Ньюфаундленда погиб от обледенения английский траулер «Блю Уайв». Судно было построено в 1950 г. и имело длину 43,76 м, ширину — 7,64 м, осадку — 5,33 м, валовую вместимость — 289 рег. т, чистую вместимость — 98 рег. т. В это же время и в том же районе погиб от обледенения исландский траулер «Джули».

Рыболовный траулер «К» вышел в декабре 1961 г. на промысел в район островов Прибылова. Переход происходил при встречном штормовом ветре в 9—11 баллов. В дальнейшем ветер стал стихать и к 31 декабря ослаб до 5—6 баллов. Начиная с 28 декабря температура воздуха понизилась до 12—17°С ниже нуля, и началось интенсивное обледенение судна. По свидетельству капитанов других траулеров, находившихся в этом же районе, ежедневно объявлялось два аврала для сколки льда. За 12—14 ч на палубе, надстройке и такелаже нарастало более 20 т льда. Последнее сообщение с траулера «К» 31 декабря 1961 г. в 22 ч также подтверждало обледенение. Судно в этот момент находилось примерно в 68 милях к западу от о. Святого Павла. Дул северо-восточный ветер силой 5—6 баллов. Волнение моря составляло 5 баллов. Глубина под килем была 138 м. Больше сообщений с судна не поступало. Оно пропало без вести, несмотря на интенсивные поиски.

Через несколько дней в районе предполагаемой гибели траулера обнаружили плавающие лючины, доски, весла, бочки и т. п. предметы, принадлежащие пропавшему судну. Комиссия, расследовавшая пропажу без вести траулера «К», пришла к заключению, что наиболее вероятной причиной гибели судна явилось сильное обледенение, приведшее к потере остойчивости и опрокидыванию. Траулер имел длину 34,19 м, ширину — 7,3 м, высоту борта — 3,48 м, осадку — 2,9 м, водоизмещение — 318 т.

В 1964 г. произошло угрожающее обледенение траулера «Н» во время шторма в 8—9 баллов в Беринговом море. Температура воздуха понизилась до  $-28^{\circ}\text{C}$ , происходило быстрое образование льда на левом борту. Крен постепенно увеличивался и достиг, наконец,  $40^{\circ}$ . Проводившееся скалывание льда не помогло, и судно находилось на грани опрокидывания. Однако траулеру удалось войти в лед и пришвартоваться к крупнотоннажному транспортному судну. За обе мачты аварийного траулера завели канаты и с их помощью уменьшили крен, после чего произвели сколку льда и окончательно спрямили аварийное судно.

За последние годы наиболее трагичным происшествием является гибель от обледенения четырех советских и шести японских рыболовных судов 19 января 1965 г. в юго-западной части Берингова моря, приблизительно в ста милях от о. Святого Матвея и в шестидесяти милях от о. Святого Павла. В этом районе суда сельдяной экспедиции застиг северо-восточный ветер ураганной силы со снежными зарядами. Скорость ветра достигала 30 м/с при температуре воздуха  $-22^{\circ}\text{C}$ . Высота волн временами равнялась 7—10 м.

В подобных условиях погибли «Бокситогорск», «Себеж», «Севск» и «Нахичевань». Одного человека с СРТ «Бокситогорск» удалось спасти, что позволило узнать некоторые подробности опрокидывания. Обстоятельства гибели остальных судов, вероятно, аналогичны.

18 января в связи с ухудшением погоды траулер прекратил промысел и пошел средним ходом против волны к кромке льда. Палуба, надстройки и такелаж сильно обледенели. По высоте лед распространялся примерно на 6 м от ватерлинии. Диаметр штагов с намерзшим у их основания льдом достигал 1,5 м. Толщина льда на палубе, брашпиле, тамбучине и на нижней части мачты с носа составляла 40 см. Произведенный на основании этих сведений расчет показал, что предполагаемая масса льда на судне могла достигать 40 т.

Вечером судно подошло к кромке льда, на нем произвели частичную сколку намерзшего на корпусе и надстройках льда и команду отпустили на отдых. Судно продолжало двигаться в битом льду.

Утром 19 января ветер усилился, лед разметало, и судно оказалось на чистой воде, продолжая двигаться против волны, испытывая плавную килевую и бортовую качку. Амплитуды бортовой качки не превышали  $6-7^{\circ}$ . Внезапно судно развернуло лагом к ветру и волнам. Одновременно возник крен на

левый борт до  $10^\circ$ , который продолжал нарастать до полного опрокидывания судна. Некоторое время «Бокситогорск» продолжал плавать вверх килем. В таком положении его обнаружил СРТ «Уруп». В районе гибели судна сила ветра достигала 10—11 баллов при очень крутых волнах высотой 6—7 м. Шел снег, и видимость не превышала 200 м. Температура воды составляла  $+1^\circ\text{C}$ , глубина моря — 108 м. Длина судна — 39,15 м, ширина — 7,3 м, высота борта — 3,49 м, осадка — 2,72 м, водоизмещение — 403 т, валовая вместимость — 260 рег. т [73].

Скорость нарастания льда на других однотипных судах 18—19 января 1965 г. в районе катастрофы достигала 10—15 т/ч, и экипажи не успевали скалывать лед. Следуя против ветра при волнении к кромке льда для укрытия, многие суда экспедиции оказались в угрожающем положении. Особенно опасная обстановка сложилась на СРТ «Атамань» 19 января. Температура воздуха в районе нахождения траулера была  $-12^\circ\text{C}$ . Судно имело пустые грузовые трюмы и 90% судовых запасов. Несмотря на непрерывную сколку льда, от него не успевали освободиться. Судно шло малым ходом против ветра и по мере нарастания льда стало хуже слушаться руля. Возник крен в  $20^\circ$  на правый борт, возросший через минуту до  $48^\circ$ . Для предотвращения опрокидывания дали аварийный полный ход вперед, руль положили право на борт и за счет циркуляции несколько уменьшили крен. Одновременно перекачали топливо из танка правого в танк левого борта.

Палуба с правого борта почти наполовину ушла в воду. Куски льда забили штормовые портики, и вода с палубы не сходила. В самый критический момент экипажу удалось сорвать деревянную обшивку с фальшборта правого борта и обеспечить сток воды. Судно привели в положение носом против зыби. Крен в это время составлял 15— $20^\circ$ . После сколки льда судно удалось окончательно выровнять.

Общее количество льда на палубе, надстройках и такелаже СРТ «Атамань» достигало 50 т, а толщина льда в некоторых местах доходила до полуметра. В течение 1 ч намерзло 15—20 т льда, и 18 чел., постоянно работавших на палубе, не успевали его скалывать. Работы по сколке льда продолжались без перерыва 50 ч. Судно удалось спасти только благодаря энергичным действиям экипажа [73].

У берегов полуострова Лабрадор во время тяжелого шторма 22—23 марта 1965 г. создалось угрожающее положение для ряда траулеров бортового траления. Сложились очень тяжелые

гидрометеорологические условия: сила ветра достигала 10—11 баллов, а во время снежных зарядов — 12 баллов, при температуре воздуха от  $-10$  до  $-15^{\circ}\text{C}$  и температуре воды ниже нуля.

Вот как обстояли дела на некоторых судах рыбопромысловой флотилии. Траулер «А» перед началом шторма лежал в дрейфе, готовясь к сдаче улова на плавбазу. На палубе находилось 16 контейнеров с рыбой общей массой около 12 т. После начала шторма и обледенения судно развернули носом на волну и начали сколку льда, однако удалять быстро нарастающий лед не успевали. Семь контейнеров с рыбой спустили в трюм. Полубак быстро покрылся льдом, после чего ухудшилась дифферентовка и управляемость. Решили развернуть судно кормой к ветру, но во время поворота, когда судно находилось лагом к волнам, образовался крен в  $35-40^{\circ}$  и обнажился кингстон, в результате чего остановилась машина. Через несколько минут машину удалось запустить, и судно снова развернули носом на волну. Оставшиеся на палубе 9 контейнеров с рыбой сбросили за борт. Однако через несколько часов машина вновь остановилась, и судно получило крен в  $45^{\circ}$  на правый борт. Для выравнивания крена перекачали топливо на левый борт, а с полубака сбросили за борт промысловое снаряжение. Постепенно положение судна улучшилось.

С траулера «Б» смыло за борт около 2 т рыбы. Были повреждены судовые конструкции. Судно держали носом на волну. Стараясь найти лучшее положение, его развернули по волне, после чего возник крен до  $40-45^{\circ}$  на левый борт, поэтому судно снова привели в положение носом на ветер. Временами траулер плохо слушался руля. Толщина льда на его полубаке достигала 1 м, а на лобовой стенке рубки 30—40 см.

С усилением ветра траулер «В» прекратил промысел и пытался уйти из района обледенения, но с палубы волной смыло матроса. Матроса удалось подобрать, после чего судно развернуло носом на волну. В результате продолжительных снежных зарядов траулер быстро покрылся слоем мокрого снега, который с понижением температуры превращался в лед. На палубе оставалось 15 контейнеров с рыбой общей массой около 12 т. Встречной волной судно развернуло лагом к ветру, и оно получило крен в  $48^{\circ}$  на левый борт. Впоследствии еще раз повторилась та же ситуация и максимальный крен достиг  $42^{\circ}$ . Каждый раз судно удавалось выпрямить путем изменения курса и режима работы машины. Толщина льда на шлюпочной палубе достигала 10—15 см, на лобовой стенке надстройки и на

полубаке была до 40 см, на леерах до 20 см. Траулер «В» получил штормовые повреждения.

В наиболее тяжелом положении оказался траулер «Г». К моменту начала обледенения на нем контейнеры с рыбой были убраны в трюм, но на верхнем мостике оставалось 240 пустых бочек. Начатую сколку льда прервали после того, как волна смыла за борт помощника тралмейстера. В это время ветер усилился до 12 баллов. Судно штормовало носом на волну. После полуночи обратили внимание на изменение характера качки: траулер стал медленно крениться на левый борт и так же медленно возвращаться в вертикальное положение. Бочки на верхнем мостике обледенели. Работы по сколке льда возобновили и стали производить интенсивнее.

Утром 23 марта судно легло на левый борт с креном в 70°. Иллюминаторы рубки вошли в воду. Левая спасательная шлюпка сорвалась с кильблоков, но осталась висеть на шлюптах. В таком положении судно находилось 5—6 мин. В это время часть бочек с верхнего мостика упала за борт, остальные были сброшены. После этого судно стало выпрямляться. Машина все время работала форсированным ходом вперед. Несколько матросов перебрались на полубак для сколки льда, толщина которого здесь достигала 50 см. На шлюпбалках и главной палубе толщина льда составляла от 30 до 50 см. Через некоторое время траулер вторично лег на левый борт, но на этот раз крен не превысил 35°, и судно быстро выпрямилось. После этого траулер развернулся и пошел малым ходом на попутной волне. Судно получило тяжелые штормовые повреждения.

На траулере «Д» при усилении ветра до 7 баллов прекратили промысел и стали штормовать. Однако на палубе продолжали оставаться 15 контейнеров с рыбой, а на верхнем мостике — 40 пустых бочек. Ветер усилился до 11 баллов, началось обледенение. Ночью производили сколку льда и сбросили за борт пустые бочки с верхнего мостика. Утром 23 марта через воздушные трубки в танк с котельным топливом попала вода. Давление пара упало, обороты машины снизились, и судно развернуло лагом к волнам и ветру с креном на правый борт в 35—40°.

После того как машина вновь прибавила обороты, судно поставили по ветру и крен выровнялся. Машину застопорили и начали дрейфовать по ветру и волне, скалывая лед на полубаке и на палубе в районе траловой лебедки. Толщина льда на полубаке, рубке, шлюпочной палубе и около траловой лебедки доходила местами до 1 м.

На траулере «Е» к моменту начала шторма на палубе находилось 10 контейнеров с рыбой общей массой около 8 т, металлические и деревянные бочки, различное промысловое снаряжение, а в танках имелись свободные поверхности. После начала интенсивного обледенения команда приступила к сколке льда. Волны смыли за борт четыре контейнера с рыбой. В результате сильного обледенения появился крен в 30—35° на правый борт, отчего кингстон циркуляционного насоса вышел из воды, и машина остановилась. После переключения циркуляционного насоса на другой кингстон машину вновь запустили и судно удалось развернуть кормой к волнам. Когда крен устранили, траулер привели в положение носом на волну и приступили к креплению оставшихся на палубе шести контейнеров с рыбой, одновременно продолжая сколку льда. Судно периодически получало крен до 40°, то на один, то на другой борт, который устраняли перекачкой топлива. На следующее утро запрессовали забортной водой топливные танки, после чего траулер перестал сильно крениться. В результате шторма судно получило повреждения лееров и шлюпочного устройства, потеряло кроме четырех контейнеров с рыбой много бочек и мелкого промыслового снаряжения.

В описанных случаях обледенения траулеров, происшедших 22—23 марта, при подготовке к шторму и во время него экипажи судов допустили ряд общих ошибок:

— на верхних палубах и мостиках осталось много неубранного в трюм груза и оборудования;

— не были запрессованы междудонные танки;

— выравнивание крена производилось перекачкой жидких грузов с борта на борт;

— своевременно не производился маневр для штормования в наиболее благоприятном положении относительно ветра и волнения.

Объективной причиной тяжелого положения судов явилось значительное превышение фактической массы льда над допустимой по Нормам остойчивости Регистра СССР.

Следует обратить внимание на то, что в таких же тяжелых гидрометеорологических условиях в этом районе находились и крупнотоннажные суда: плавбазы и рефрижераторы, однако обледенение для них не создало угрожающей обстановки [47].

В феврале 1966 г. у берегов Канады, в заливе Святого Лаврентия, опрокинулся в результате обледенения траулер «Блю Мист II» водоизмещением 580 т. Судно погибло во время

урагана, когда скорость ветра достигала 35 м/с, высота волн составляла 10 м, а температура воздуха  $-23^{\circ}\text{C}$  [59].

Примерно в то же время, 21 февраля 1966 г., в районе Курильских островов погиб траулер «И» при ветре ураганной силы, скорость которого превышала 40 м/с, и температуре воздуха, понизившейся до  $-20^{\circ}\text{C}$ . Авария произошла при встречном волнению движении. Носовая часть судна заливалась, наблюдалось очень сильное обледенение. 20 февраля капитан сообщил, что судно с трудом удерживается носом на волну, сильно обледенело, но из-за больших амплитуд качки и заливания палубы производить сколку льда невозможно. Последнее сообщение с судна поступило в 01 ч 35 мин 21 февраля. В нем говорилось, что траулер с креном в  $60^{\circ}$  находится в трех милях от о. Уташуд.

По свидетельству капитанов других однотипных судов, находившихся в том же районе, имело место обледенение исключительно высокой интенсивности: на лобовых стенках рубок за 20—25 мин намерзал слой льда толщиной 25—30 см.

Основные размерения траулера «И»: длина между перпендикулярами — 34,89 м, ширина — 7,3 м, высота — 3,49 м, осадка по грузовую марку — 2,89 м, осадка в момент аварии — 3,06 м, скорость на тихой воде — 9 уз. Судно не имело груза, кроме находившихся на борту приблизительно 88 т различных запасов. За месяц до гибели на траулер после кренования уложили 25 т дополнительного балласта, и он полностью удовлетворял требованиям к судам неограниченного района плавания [67].

В эти же дни около юго-восточного берега Камчатки подверглись сильному обледенению СРТ «Кит», «Семипалатинск», «Кавран», «Барабуля», РС «Пильво». Скорость ветра временами превышала 50 м/с, температура воздуха понизилась до  $14-20^{\circ}\text{C}$  ниже нуля. Несмотря на непрерывную сколку льда, крен СРТ «Семипалатинск» достиг  $55-60^{\circ}$ . Под тяжестью льда оборвались антенны. Траулер находился на грани гибели. С помощью самодельной антенны удалось восстановить радиосвязь и подать сигнал бедствия. Через некоторое время к потерпевшему аварии судну подошел танкер «Абагур», взял его на буксир и привел в Петропавловск-Камчатский. Крен СРТ «Кавран» и «Барабуля» также достигал  $55-60^{\circ}$  [50].

В феврале 1968 г. во время сильных штормов у северо-западных берегов Исландии погибли английские траулеры «Росс Кливленд», «Кингстон Поридот» и «Сент Романус». Спасся только один из 19 чел., находившихся на «Росс Кливленде». По его рассказу, шторм сопровождался сильным обледенением.

Судно направилось в укрытие к ближайшему фиорду. Сила ветра в это время достигала 10 баллов. Густой снегопад настолько уменьшил видимость, что из ходовой рубки не было видно бака.

Траулер средним ходом шел против ветра. Обледенение усиливалось, и люди не успевали справляться с нарастающим льдом. Лобовая переборка рубки покрылась слоем льда толщиной в 10 см. Внезапно сильным порывом ветра судно накренило на левый борт. Несколько волн подряд обрушилось на палубу. Траулер лег на борт и больше уже не выпрямился.

Один из спасательных плотов находился возле дымовой трубы и поэтому оказался свободным ото льда. На нем и спасся единственный свидетель гибели судна.

Группа сейнеров в январе 1973 г. вышла в Черное море на промысел хамсы. Вместе с группой шло транспортное рефрижераторное судно. 20 января, когда суда находились на траверзе Керченского пролива, поднялся восточный ветер силой в 6—7 баллов, вскоре усилившийся до штормового. Около 17 ч 20 января на одном из сейнеров вышел из строя главный двигатель. К аварийному судну для оказания помощи подошли два сейнера, а остальные в районе Анапы встали на якорь под укрытием берега.

Попытка буксировать аварийный сейнер не удалась из-за малой скорости движения против встречного ветра и последовавшего обрыва троса. Вечером 20 января началось резкое понижение температуры. От холодных потоков воздуха с берега над морем появилось густое парение, уменьшившее видимость до 50—100 м. Волнение и ветер усилились, началось быстрое обледенение. Суда оказались в угрожающем положении. Аварийное судно оставили на якоре, и безуспешно буксировавший его сейнер ушел под укрытие берега. Несмотря на два отданных якоря, терпящий бедствие сейнер дрейфовал в юго-западном направлении со скоростью до 1,5 уз и сильно обледенел. Экипаж из 12 чел. в течение 33 ч непрерывно скалывал лед. Судно находилось в угрожающем положении. Только утром 22 января, когда ослаб ветер, улеглось волнение и потеплело, рефрижератор подошел к аварийному судну, снял с него людей и взял его на буксир. К этому моменту сейнер продрейфовал 50 миль и оказался в зоне более теплой воды, где обмерзание судна стало несущественным.

В спасении кроме рефрижератора участвовала большая группа буксирных и транспортных судов. Многие из них длительное время находились в зоне опасного обледенения. Однако

интенсивному обледенению подверглись только сейнеры и морские буксиры. Их экипажи вынуждены были заниматься сколкой льда со своих судов и не могли оказать помощь бедствующему сейнеру. Крупнотоннажные суда существенного обледенения не испытывали. Скорость ветра достигала 20 м/с при температуре воздуха  $-5^{\circ}\text{C}$  и температуре воды  $+5^{\circ}\text{C}$ . К вечеру 21 января температура воздуха понизилась до  $-9^{\circ}\text{C}$ . По расчетам, интенсивность обледенения составляла от 2,5 до 3,0 т/ч.

Выше описаны случаи гибели промысловых судов или возникновения тяжелой аварийной ситуации, которые являлись предметом специального разбора и изучения. Кроме того, имели место многочисленные случаи обледенения, не имевшие тяжелых последствий или не описанные в литературе.

Анализ приведенных выше случаев обледенения промысловых судов показывает, что все они имели относительно небольшие размеры: их длина не превышала 55 м, а водоизмещение 1115 т. Подавляющее большинство аварий и аварийных ситуаций (около 73%) произошло при ветре силой более 10 баллов.

Все описанные случаи имели место при брызговом обледенении, иногда в сочетании со снежными зарядами. Более половины судов (56%), подвергшихся тяжелому обледенению, погибли.

## **§ 9. АВАРИИ ТРАНСПОРТНЫХ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ СУДОВ**

В середине ноября 1910 г. на 12-футовом астраханском рейде стояло 59 барж и судов. Несмотря на полученное штормовое предупреждение и ожидаемое понижение температуры воздуха, мер по обеспечению безопасности каравана судов принято не было. В ночь на 13 ноября ветер с востоко-северо-востока усилился до штормового при температуре воздуха  $-12^{\circ}\text{C}$ . Во время шторма погибло много судов и барж. Число жертв превысило 300 чел. Две баржи в результате сильного обледенения потеряли остойчивость и опрокинулись. Баржа № 115 перевернулась вверх килем, а № 10 легла на борт [66].

Спасательный буксир «Р» водоизмещением около 300 т зимой 1933 г. участвовал в снятии с камней у о. Шпицберген лежачего докола. После окончания спасательных работ 24 апреля 1933 г. вместе с другими судами экспедиции он возвращался в Мурманск. «Р» шел малым ходом позади каравана судов, ожидая судно, которое должно было взять его на буксир. В ночь на 25 апреля при сильном ветре и снежных зарядах началось об-

леденение. Поведение судна на волнении свидетельствовало о том, что остойчивость его уменьшилась: в положении лагом к волне буксир получал постоянный крен и долго не выпрямлялся. Скалыванием льда и разворотом носом на волну несколько раз удавалось выпрямить судно, но с усилением обледенения этого стало недостаточно. В конце концов «Р» лег на борт, вода через палубные вентиляторы и другие отверстия затопила сначала котельное, а потом и машинное отделение. В результате судно затонуло [45].

Осенью 1949 г. в Карском море сильно обледенел крупный ледокол. В носовой части судна образовалось несколько сот тонн льда, но аварию удалось предотвратить своевременным входом в плавучий лед.

В феврале 1959 г. в Ботническом заливе опрокинулось от обледенения шведское спасательное судно «Титан» [80].

В 1956 г. в море Лаптевых работало экспедиционное судно. Обледенение возникло 5 октября при температуре воздуха от  $-7$  до  $-8^{\circ}\text{C}$ , ветре 11—12 баллов и волнении 6—7 баллов. Судно испытывало стремительную килевую и бортовую качку. Крен достигал  $40^{\circ}$ . Происходило интенсивное обледенение корпуса, надстроек, палубы и палубных механизмов. Несмотря на авральную сколку льда, его толщина через час после начала обледенения достигала 30—50 см. Судно находилось в критическом положении и вынуждено было просить о помощи. Через некоторое время оно вошло в лед, что уменьшило волнение и забрызгивание, несмотря на 11-балльный ветер. Опасность потери остойчивости миновала. После 2 сут дрейфа во льдах аварийное судно было выведено из них ледоколом [34].

В ноябре 1965 г. спасательное судно совершало рейс в западной части Берингова моря. Через сутки после выхода в море при ветре силой 9—10 баллов, температуре воздуха от  $-14$  до  $-17^{\circ}\text{C}$  и температуре воды  $-1,5$ ,  $-1,8^{\circ}\text{C}$  началось интенсивное обледенение палубы, надстроек и шлюпок, особенно с правого борта. Стремительная качка не позволяла производить сколку льда. Для уменьшения обледенения изменили курс на ветер и уменьшили скорость. Постепенно образовался крен судна на правый борт в  $10$ — $12^{\circ}$ , его дифферент на нос достиг  $0,8$ — $1,0$  м. Толщина льда на носовой части палубы судна составляла 40—50 см, а на надстройках от 5 до 15 см. Всего на судне образовалось около 75—80 т льда, сколоть который удалось только после входа судна в ледовые поля [49].

Вместе с группой траулеров сильному обледенению в районе полуострова Лабрадор 22—23 марта 1965 г. подвергся

спасательный буксир. Выше приводилось описание опасного положения, создавшегося на судах этой рыбопромысловой экспедиции в результате обледенения. В таком же тяжелом положении оказался и спасательный буксир. Толщина льда на его фальшбортах доходила до 35—40 см, а на носовой рубке — до 15 см. Такой же толщины лед достигал на других частях корпуса и палубных механизмах. На бортах от планширя до наружных привальных брусьев образовался слой льда толщиной 12—15 см и высотой около 1 м. Судно начало терять остойчивость и не смогло выполнить функции спасателя.

Морской буксир «П» 1966 г. постройки имел следующие данные: длина — 28,86 м, ширина — 6,49 м, высота борта — 3,0 м, валовая вместимость — 132,16 рег. т. Ему был установлен район плавания с удалением от берега до 100 миль. Буксир погиб 1 февраля 1967 г. В день его гибели сила ветра достигала 7, а в порывах доходила до 8 баллов, температура воздуха составляла  $-15^{\circ}\text{C}$  (по другим источникам, от  $-20$  до  $-25^{\circ}\text{C}$ ). Наблюдалось обледенение, интенсивность которого, по сообщениям с других судов, равнялась 2 см/ч. Буксир испытывал качку с амплитудами от 5 до  $35^{\circ}$  на левый борт. Вследствие большого статического крена палуба левого борта погрузилась в воду. Когда экипаж оставлял судно, наружную дверь рубки удалось открыть с трудом, так как слой льда на ней достигал 5 см. Через 45 ч после гибели буксира спасательный плот с 8 членами экипажа был подобран подошедшим судном.

Отмечались случаи тяжелого обледенения судов не только в море, но и в акватории портов. Так, на барже, находившейся в декабре 1962 г. в Одесском порту, в течение одной ночи образовался толстый слой льда (рис. 20).

Во время шторма 5—11 ноября 1967 г. буксирный катер «А» валовой вместимостью 22,6 рег. т с понтоном на буксире не успел укрыться от шторма и остался в открытом море. Обледенение происходило при температуре воздуха  $-15^{\circ}\text{C}$ , а воды около  $0^{\circ}\text{C}$ , ветре силой 12 баллов и волнении моря 9 баллов, при частых снежных зарядах. Буксирный трос оборвался, и понтон унесло в море. На помощь бедствующему судну из порта вышли два морских буксира, которые 9 ноября сняли с аварийного судна команду и подвели его к берегу, где судно и затонуло на 20-метровой глубине [11].

Служебно-вспомогательные суда по размерам и форме корпуса часто близки к промысловым, и поэтому характер и последствия их обледенения имеют много общего. Но суда служебно-вспомогательного флота реже совершают плавания

в большом удалении от берегов и, вероятно, поэтому реже страдают от обледенения, чем промысловые суда. Доля погибших вспомогательных судов составляет, как и доля промысловых, — 54 %.

Обледенение может представлять опасность и для более крупных транспортных судов. В частности, на Дальнем Востоке отмечались случаи сильного обледенения и возникновения ава-



Рис. 20. Обледеневшая баржа в Одесском порту

рийного крена у ряда крупных транспортных сухогрузных и наливных судов.

В декабре 1955 г. шельтердечное судно «С» длиной 119,48 м, шириной 16,38 м, высотой борта 8,13 м подверглось в Охотском море сильному обледенению. Лед быстро нарастал на верхней палубе, бортах, такелаже и палубном грузе. Диаметр обледеневших вант достигал 0,6—0,7 м. Эффективно бороться со льдом стало возможным только после входа во льды [20].

В марте 1956 г. теплоход ФРГ «Анта», следовавший с грузом леса Северным морем, получил во время шторма крен на правый борт до 25° и вынужден был укрыться в порту Эмден. Причиной возникновения аварийного крена признана неправильная загрузка судна: на палубу приняли 37% общего

количества леса, при высоте каравана леса 2,1—2,2 м, в то время как согласно информации об остойчивости на палубу следовало грузить не более 24% леса, а максимальная высота каравана не должна превышать 1,75 м.

В опубликованном сообщении об аварии теплохода «Анта» ничего не говорилось о влиянии обледенения на остойчивость судна, однако было упомянуто о том, что в порту Эмден при спрямлении судна пришлось отказаться от выгрузки леса с палубы, так как он сильно обледенел и доски невозможно было отделить друг от друга. Спасатели поэтому не могли проникнуть в трюм № 1, куда попала вода, вероятно, через щели между лючинами. Пришлось прорезать отверстие в таранной переборке для спуска воды из трюма в форпик, откуда ее можно было откачать за борт [82].

Столь сильное обледенение палубного груза не могло не сказаться отрицательно на остойчивости судна и несомненно способствовало образованию аварийного крена. Основные размеры теплохода «Анта»: длина — 41,3 м, ширина — 7,5 м, осадка — 2,6 м, дедвейт — 375 т, валовая вместимость — 281 рег. т.

В начале января 1958 г. западногерманский теплоход шельтердечного типа «Тереза Русс», совершая рейс из Гамбурга в Хельсинки, подвергся сильному обледенению при ветре силой более 7 баллов. Длина судна — 75,5 м, ширина — 11,3 м, осадка — 4,3 м. Теплоход имел палубный груз автобусов, на которых образовался толстый слой льда. Лед покрывал всю палубу бака. На рангоуте и брашпиле его слой быстро достиг метровой толщины. Всего в носовой части судна образовалось около 60 т льда. В результате обледенения возник постоянный крен в 12°, и только интенсивная сколка льда предотвратила более тяжелые последствия.

В январе 1960 г. пароход «Н» следовал Северным морем в Англию с грузом леса. Судно попало в шторм, сопровождавшийся обледенением. Когда пароход во время качки накренился на левый борт, крупная волна ударила в правый борт, и палубный груз, состоявший из обледеневшего пиломатериала, сместился, вызвав крен в 30°. В таком положении пароход находился 8 дней до прихода в порт назначения. Для поддержания мореходности судна балластные танки полностью запрессовали. Топливо и воду брали из танков левого борта и таким путем несколько уменьшили крен. Длина судна — 55,8 м, ширина — 9,02 м, высота борта — 4,75 м, осадка — 4,27 м, валовая вместимость — 638 рег. т, дедвейт — 902 т [1].

В феврале 1961 г. тяжелому обледенению подвергся теплоход «И». Судно доставляло с рыбных промыслов в Беринговом море продукцию в порты Приморья и было застигнуто жестоким штормом к югу от Алеутских островов. Корпус и надстройки теплохода покрылись толстым слоем льда. Судно при качке медленно возвращалось в вертикальное положение, что свидетельствовало об уменьшении остойчивости до опасных пределов. Лед оборвал антенны, и радиосвязь прекратилась. Сколку льда приходилось вести с риском для жизни людей, так как иногда крен становился угрожающим и палуба погружалась в воду. Теплоход находился на грани гибели, и его удалось спасти только благодаря четким и самоотверженным действиям экипажа [56].

В январе 1963 г. в 20 милях от о. Эланд погиб шведский теплоход «Остенхав». Незадолго до гибели с него сообщили, что судно находится в условиях тяжелого обледенения.

Во время рейса из Клайпеды в датский порт Орхус в январе 1963 г. танкер «Е» подвергся сильному обледенению. Масса льда только на корпусе судна достигала 350 т, что составляет почти 10% от его чистой грузоподъемности. Наибольшее количество льда приходилось на носовую часть судна. Надводный борт танкера значительно уменьшился, и судно заливалось волнами. На том же танкере наблюдалось сильное обледенение в декабре 1963 г. во время рейса из порта Рундвик в Клайпеду.

Западногерманское судно № 6012 (нумерация по материалам ИМКО) потерпело аварию 22 декабря 1962 г. Длина судна между перпендикулярами составляла 58,0 м, ширина — 9,7 м, высота борта — 5,8 м, осадка — 4,77 м.

На борту находилось 1164 т целлюлозы и бумаги, из которых 113 т размещалось на палубе. Кроме того, судно имело 53 т запасов и 147 т жидкого балласта. В танках двойного дна были свободные поверхности. Ветер силой в 7—8 баллов и волнение не совпадали по направлению: КУ ветра составлял  $45^\circ$ , а волнения —  $90^\circ$ . Скорость судна во время аварии равнялась 7 уз. Сильно обледеневшее судно во время шторма проходило мелководную зону. После того как оно несколько раз накренилось с большой амплитудой на левый борт, возник постоянный крен в  $40\text{—}45^\circ$  на правый наветренный борт. Часть палубного груза упала за борт, некоторое количество его сбросили для уменьшения крена и заливания палубы. После потери 36 т целлюлозы крен уменьшился до  $3^\circ$ , однако вследствие продолжав-

шегося обледенения он снова стал возрастать и за следующие 19 ч достиг  $8^\circ$  [1].

Во время рейса из Швеции в Бремен с грузом целлюлозы западногерманское судно «Лоэнгрин» опрокинулось 14 января 1963 г. в Кильской бухте. «Лоэнгрин» первоначально предназначался для перевозки навалочных и штучных грузов, но впоследствии его переоборудовали для перевозки автомашин. Основные размерения судна следующие: длина между перпендикулярами — 59,0 м, ширина — 10,0 м, высота борта — 5,95 м, осадка — 4,87 м, дедвейт — 1490 т. Во время рейса в трюмах и твиндеке находилось 1195 т целлюлозы. Кроме того, на борту имелось 47 т жидкого балласта и 61 т различных запасов.

Авария произошла при ветре силой 8 баллов в условиях обледенения. Высота волн была около 1,5—2,0 м, а длина находилась в пределах от 25 до 55 м. Судно в момент аварии шло на попутном волнении со скоростью 10—11 уз. При перекладке руля оно внезапно накренилось на  $25^\circ$ . В течение получаса крен увеличился до  $45^\circ$ , а еще через полчаса произошло опрокидывание.

Первопричиной аварии признана недостаточная остойчивость, возникшая в результате переоборудования судна и неправильной его загрузки. Обледенение являлось сопутствующим обстоятельством, способствовавшим потере остойчивости [1].

Сильному обледенению подвергся танкер «Б» в Анадырском заливе Берингова моря в начале ноября 1963 г. Ураганный ветер достигал 40 м/с. Волны заливали всю палубу. Наблюдалось интенсивное обледенение верхней палубы, надстройки, переходного мостика и полубака. Несмотря на то что лед непрерывно скалывали, освободиться от него удалось только после того, как судно вошло в залив, где волнение было слабее.

Танкер «Б» представляет собой довольно крупное судно: длина — 129,26 м, ширина — 16,68 м, высота борта — 9,87 м [20].

В феврале 1965 г. дизель-электроход «П» (длина — 133,1 м, ширина — 18,88 м и высота борта — 11,6 м) в Охотском море подвергся обледенению при шторме со снежными зарядами. Скорость ветра достигала 40 м/с. За 5 сут толстый слой льда покрыл борта, верхнюю палубу, палубный груз и надстройку. Обледенение прекратилось после того, как судно вошло во льды [20].

В работе [47] есть данные по обледенению транспортных судов в Балтийском море зимой 1963 г., представленные в табл. 13.

Из всех судов, указанных в табл. 13, в аварийной ситуации (крен 25°) оказался только лесовоз. Указаний на какие-либо опасные явления на остальных судах нет.

В тяжелое положение попал теплоход «П» во время зимнего рейса в Японском море с грузом леса. В условиях тяжелого шторма и обледенения на нем были повреждены крепления

Таблица 13

Случаи обледенения транспортных судов

Тип судна	Дедвейт, т	Температура воздуха, °С	Скорость ветра, м/с	Обледеневшие части судна
Танкер	500	-10	2	Палуба, фальшборт, рангоут, корпус
»	2 500	-12	12	Палуба, фальшборт
»	4 000	-4	10-12	Палуба, фальшборт, корпус
»	10 000	-7, -8	16-18	Палуба, фальшборт, рангоут, корпус *
»	17 000	-3	4-6	Палуба, фальшборт *
»	19 000	-9	14-16	Палуба, фальшборт, рангоут *
»	25 000	-7	8	Палуба, фальшборт *
»	33 000	-8	10	Палуба, фальшборт
»	39 000	-10	14-16	Палуба, фальшборт, рангоут, корпус
Лесовоз		-7, -8	8	Палуба, фальшборт, рангоут, корпус *

Примечание. Звездочкой отмечено сильное обледенение.

палубного груза и лес сместился на правый борт, создав реальную угрозу опрокидывания. Для предотвращения потери устойчивости приняли воду в трюмы. Судно развернули носом против волны, и в таком положении оно находилось 3 сут, пока не удалось исправить поврежденные крепления палубного груза. «П» — однопалубное судно трехостровного конструктивного типа 1953 г. постройки с машинным отделением в средней части корпуса. Его основные данные: длина между перпендикулярами — 84,9 м, ширина — 13,06 м, высота борта — 6,5, осадка 5,64 м, дедвейт — 1313 т, водоизмещение — 4725 т, валовая вместимость — 2550 рег. т, скорость на тихой воде — 10,2 уз [1].

В январе 1968 г. при 10-балльном шторме за 2 сут перехода в Охотском море с грузом, расположенным на палубе, на теплоходе «Б» замерзло 340 т льда (масса льда определялась по замерам осадок). По Нормам Регистра СССР, такое судно

может принять лед массой до 72 т. Длина судна — 123,9 м, ширина — 16,7 м, высота борта — 8,4 м, осадка — 7,0 м, водоизмещение — 9530 т.

На корпусе и надстройках теплохода «О» в январе 1972 г. во время его перехода от пролива Лаперуза до оконечности Камчатки образовалось около 300 т льда при расчетной норме 63 т. Для того чтобы открыть трюмы после прихода в порт назначения, понадобилось 3 сут интенсивно скалывать лед, так как его толщина на люковых крышках достигала 30 см.

На теплоходе «М» в январе 1975 г. во время плавания в Дальневосточном бассейне при сильном шторме намерзло 250 т льда при расчетной норме — 47 т. Длина судна — 100,8 м, ширина — 14,3 м, высота борта — 7,1 м, осадка — 6,0 м, водоизмещение — 5660 т.

Статистический анализ случаев обледенения транспортных судов показывает, что они реже подвергаются этой опасности по сравнению с промысловыми; доля транспортных судов составляет 36,6%. Из 26 транспортных судов, подвергшихся тяжелому обледенению, только три судна (11,5%) погибло, причем в двух случаях обледенение явилось не первопричиной опрокидывания, а только сопутствующим обстоятельством.

Транспортные суда реже укрываются от обледенения во льдах (два случая), в порту или у берега (два случая). Обычно обледенение не заставляет их менять свой маршрут, и экипажи ограничиваются скалыванием льда и иногда балластировкой.

## § 10. ОСТОЙЧИВОСТЬ АВАРИЙНЫХ СУДОВ

Многие обстоятельства гибели судов от обледенения, как правило, остаются неизвестными.

Для оценки фактической массы льда, приведшей к опрокидыванию, приходится прибегать к расчетам, базирующимся на имеющихся косвенных данных. Так, например, было подсчитано, что общая масса воды, ежечасно проносящейся в виде брызг над судном (расчет вели для английских траулеров «Лорелла» и «Родериго»), составляет около 20 т, из которых примерно 10%, т. е. 2 т/ч, оседает в виде льда на судовых поверхностях. Таким образом, за 1 сут, в течение которых погибшие траулеры находились в условиях шторма с обледенением, на каждом из них мог образоваться слой льда массой около 50 т.

Аналогичным путем, давая предположительную оценку массы льда, образовавшегося на судне, были построены диаграммы

статической остойчивости ряда аварийных судов, приведенные ниже. Так получена диаграмма статической остойчивости погибшего траулера «Т» (рис. 21), которая свидетельствует о том, что судно не удовлетворяло Нормам Регистра СССР:  $h_0 = 0,36$  м;  $l_m = 0,142$  м;  $\theta_m = 28^\circ$ ;  $\theta_v = 72^\circ$ , т. е. два критерия ( $l_m$  и  $\theta_m$ ) оказались меньше допустимых пределов.

Аналогичная диаграмма построена для теплохода «Лоэнгрин» (см. рис. 21). Его остойчивость характеризуется такими

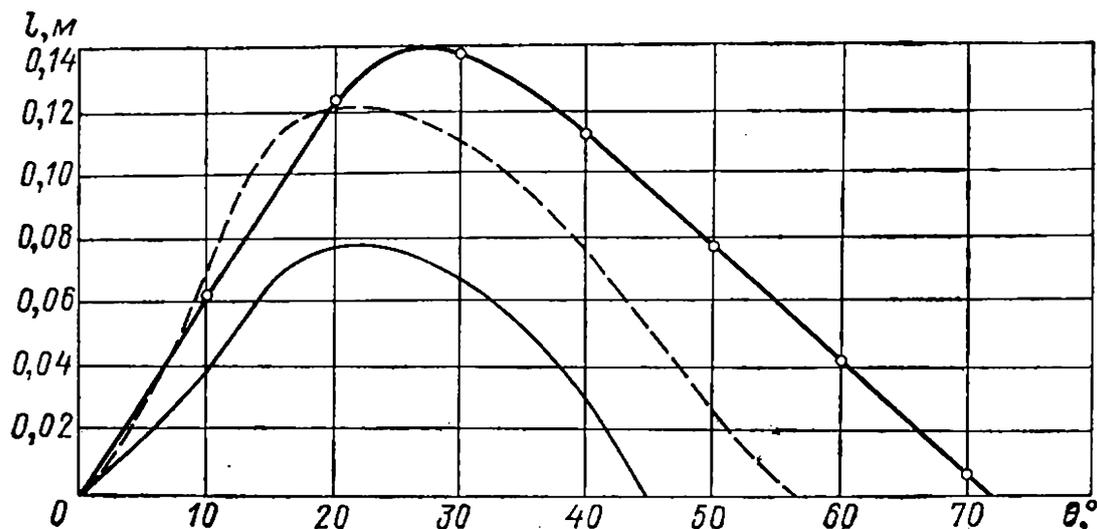


Рис. 21. Диаграмма статической остойчивости.

—○— траулера «Т»; — — — теплохода «Лоэнгрин»; — — — СРТ «Себеж»

данными:  $h_0 = 0,22$  м;  $l_m = 0,08$  м;  $\theta_m = 20^\circ$ ;  $\theta_v = 45^\circ$ ;  $\theta_f = 15^\circ$ . Это судно опрокинулось.

На рис. 22 приведена диаграмма статической остойчивости западногерманского суда № 6012, показывающая крайне малый запас остойчивости в условиях аварии:  $h_0 = 0,18$  м;  $l_m = 0,06$  м;  $\theta_m = 20^\circ$ ;  $\theta_v = 33^\circ$ . Угол крена, при котором палуба входит в воду,  $\theta_f = 12^\circ$ . Отсюда видно, что значения  $l_m$ ,  $\theta_m$ ,  $\theta_v$  значительно меньше величин, допустимых по Нормам остойчивости Регистра СССР, и, вероятно, только потеря палубного груза спасла судно от гибели.

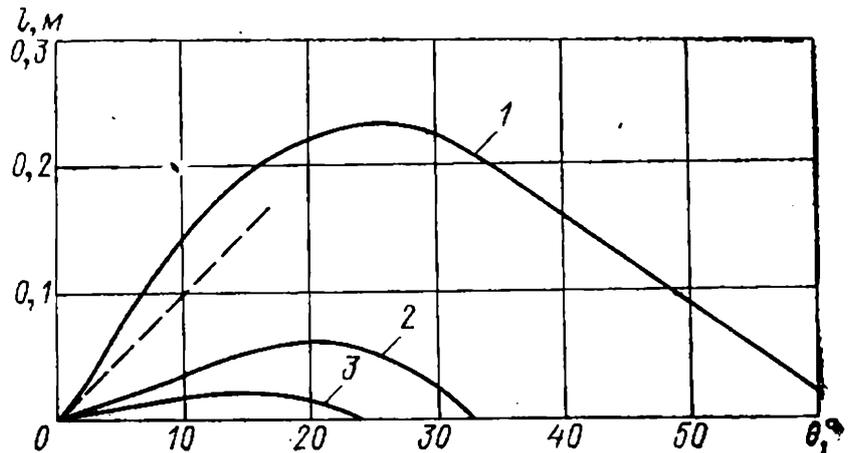
Произведенные после гибели СРТ «Бокситогорск» расчеты показали, что его остойчивость была явно неудовлетворительной. По критерию погоды Нормы Регистра СССР не удовлетворялись даже при отсутствии обледенения. Максимальное плечо диаграммы статической остойчивости соответствовало Нормам Регистра СССР только без обледенения. Углы максимума диаграммы и ее заката удовлетворяли требованиям при массе льда

менее 40 т. Однако имеющиеся сведения позволяют предположить реальную возможность образования на судовых поверхностях льда массой около 60 т.

Произведенный в работе [73] анализ обстоятельств аварии показал следующее. Траулер опрокинулся в условиях качки и заливания палубы водой под действием ветра, развернувшись к нему бортом, при массе льда, образовавшегося на судне, рав-

Рис. 22. Диаграмма устойчивости судна № 6012.

1—при равномерной загрузке однородным грузом и 10% запасов; 2—в условиях аварии, без учета поправки на свободные поверхности; 3—в условиях аварии, с учетом поправки на свободные поверхности



ной примерно 57 т. В аналогичной ситуации опрокидывание может также произойти при массе льда около 63 т. Увеличение критического значения массы льда при учете волнения объясняется тем, что накренение судна от волны могло произойти только на подветренный борт, а в этом случае действие порыва ветра на судно уменьшается. Если палуба заливается водой, то под воздействием ветра судно может опрокинуться при оседании льда массой в 58 т. Опрокидывание при совместном действии ветра и волнения и заливании водой палубы возможно при образовании на судне льда массой около 60 т.

Таким образом, «Бокситогорск» при массе намерзшего льда около 60 т мог опрокинуться от совместного действия ветра и волн независимо от того, была ли палуба залита водой или нет.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что судно, не удовлетворяющее требованиям Норм устойчивости Регистра СССР, оказалось способным нести в штормовых условиях массу льда, в несколько раз превышающую предусмотренную расчетами. Для «Бокситогорска» расчетная масса льда по Нормам Регистра СССР равнялась 10,6 т.

Диаграмма статической устойчивости СРТ «Бокситогорск» приведена на рис. 23. Расчеты устойчивости траулера после его гибели дали результаты, приведенные в табл. 14, заимствованной из работы [46].

Если допустить возможность асимметричного обледенения, в результате которого оказалась неуравновешенной 1/4 ледовой

Таблица 14

Показатели СРТ «Бокситогорск»

Характеристика	Остойчивость		
	без обледенения	по Нормам Регистра СССР	в момент аварии
Статическая остойчивость			
$\Delta$ , т	363,4	374,4	403,4
$m_{л}$ , т	0	10,6	40,0
$d_{ср}$ , м	2,54	2,59	2,72
$r$ , м	2,09	2,02	1,93
$z_g$ , м	3,03	3,07	3,18
$z_c$ , м	1,54	1,57	1,65
$h_0$ , м	0,60	0,52	0,40
$l_m$ , м	0,24	0,21	0,13
$\theta_m$ , °	32	30	20
$\theta_v$ , °	87	84	66
Динамическая остойчивость			
$A_v$ , м <sup>2</sup>	176	166	141
$z_{п}$ , м	2,93	2,90	2,86
$P$ , кг/м <sup>2</sup>	130	129,8	129,3
$M_{кр}$ , т·м	67,0	62,4	52,1
$\theta_k$ , °	16	15	14
$M_c$ , т·м	49,0	43,2	26,2
$K$	0,73	0,69	0,50
$M'_c$ , т·м	69,0	60,0	39,2
$K'$	1,10	0,96	0,75
Примечание. $K'$ и $M'_c$ — критерий погоды и момент без учета качки, соответственно; $\theta_k$ — условная расчетная амплитуда качки.			

нагрузки, то возникающий при этом кренящий момент составит

$$M_{кр}^л = 0,25m_{л}B_{л}, \quad (11)$$

где  $m_{л}$  — масса льда, т;  $B_{л}$  — плечо кренящего момента от асимметричности обледенения, м.

Если  $B_{л} \approx 0,75 B/2$ , то  $M_{кр}^л = 37,5$  т·м. Такой кренящий момент создает крен, равный  $12^\circ$ .

Восстанавливающий момент, соответствующий максимуму диаграммы статической остойчивости,  $M_{\theta} = \Delta l_{\theta} = 52,5$  т·м. Зна-

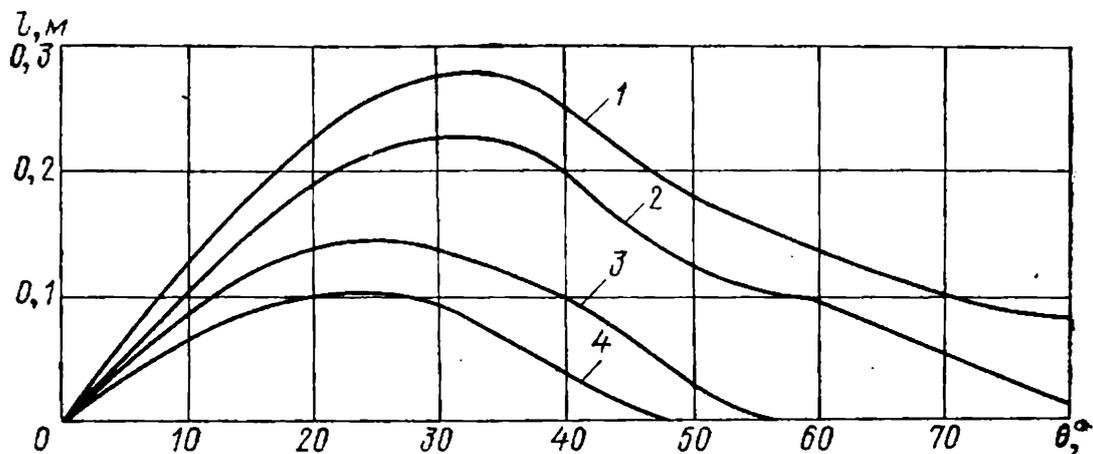


Рис. 23. Диаграмма статической остойчивости СРТ «Бокситогорск».

1—без обледенения; 2—при обледенении, удовлетворяющем Нормам Регистра СССР (масса льда—10,6 т); 3—то же при массе льда 40 т; 4—то же при массе льда 60 т

чит, опрокинуть судно может дополнительный момент  $52,5 - 37,5 = 15$  т·м. Таким мог оказаться кренящий момент от

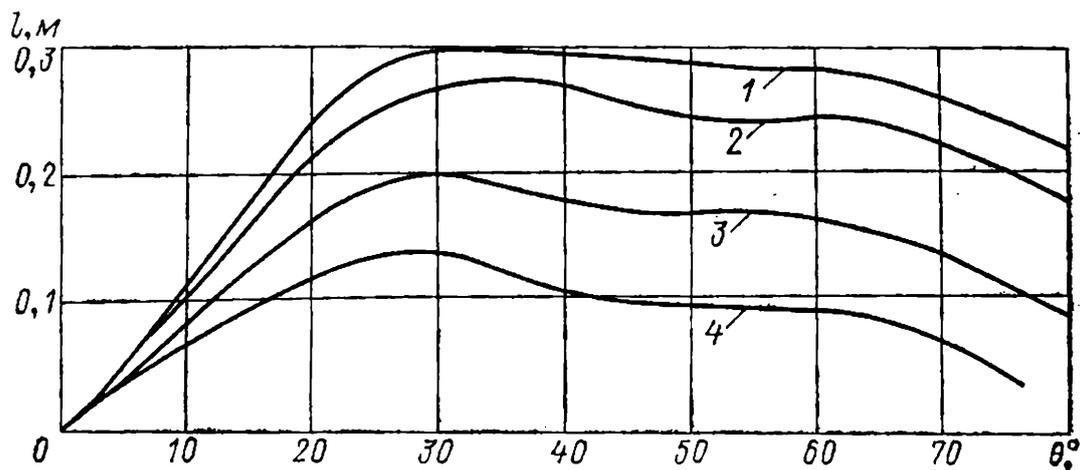


Рис. 24. Диаграмма статической остойчивости СРТ «Атамань».

1—без обледенения; 2—при обледенении, удовлетворяющем Нормам Регистра СССР (масса льда—10,5 т); 3—то же при массе льда 40 т; 4—то же при массе льда 60 т

воды, заливавшей палубу. Это предположение обосновано, так как на других судах, находившихся в районе аварии «Бокситогорска», наблюдалось сильное обледенение штормовых порти-

ков, в результате чего последние не обеспечивали быстрый сток воды за борт.

Кроме того, одновременно мог действовать кренящий момент от циркуляции, составляющий около 8 т·м. Возможность циркуляции подтверждается очевидцем аварии, сообщившим, что

Таблица 15

Показатели остойчивости СРТ «Атамань»

Характеристика	Масса льда, т			
	0	10,5	39,4	62,8
$\Delta$ , т	417,4	427,9	456,8	480,1
$h_0$ , м	0,76	0,72	0,62	0,55
$l_m$ , м	0,30	0,27	0,195	0,14
$\theta_m$ , °	36	34	30	29
$\theta_v$ , °	100	100	92	82
$\theta_k$ , °	17	16	15	14
$l_{опр}$ , м	0,180	0,160	0,110	0,073
$A_v$ , м <sup>2</sup>	153,3	153,4	148,4	144,8
$z_{п}$ , м	2,62	2,92	2,89	2,83
$K$	1,48	1,17	0,90	0,66

перед опрокидыванием судно по неизвестной причине ушло с курса и развернулось лагом к волнам [46].

Погибший в тех же условиях СРТ «Себеж» имел показатели остойчивости, близкие к тем, которыми обладал «Бокситогорск». У СРТ «Себеж»  $h_0 = 0,34$  м;  $l_m = 0,123$  м;  $\theta_m = 20^\circ$ ;  $\theta_v = 57^\circ$ . Диаграмма его статической остойчивости приведена на рис. 21.

Значительно лучше показатели остойчивости СРТ «Атамань», находившегося в одинаковых гидрометеорологических условиях с погибшими траулерами, но благодаря самоотверженной борьбе экипажа, избежавшего опрокидывания. Диаграмма статической остойчивости СРТ «Атамань» приведена на рис. 24, а сводные данные по остойчивости — в табл. 15.

Наиболее вероятная масса льда, образовавшегося на судне, около 50 т. При такой ледовой нагрузке СРТ «Атамань» уже не удовлетворяет Нормам Регистра СССР по всем показателям, кроме показателя угла заката, который и при бóльшей ледо-

вой нагрузке значительно превышает минимально допустимую величину.

Погибший траулер «И» имел диаграмму статической остойчивости, приведенную на рис. 25.

Показатели его остойчивости в условиях аварии следующие:

$$\begin{aligned} \Delta &= 473 \text{ т}; & A_v &= 149,1 \text{ м}^2; \\ h_0 &= 0,39 \text{ м}; & z_n &= 2,71 \text{ м}; \\ l_m &= 0,064 \text{ м}; & d_{cp} &= 3,06 \text{ м}; \\ \theta_m &= 16^\circ; & z_g &= 3,14 \text{ м}; \\ \theta_v &= 56^\circ; & z_c &= 1,83 \text{ м}; \\ \theta_f &= 6,7^\circ; & r &= 1,73 \text{ м}. \\ T_\theta &= 9,5 \text{ с}; \end{aligned}$$

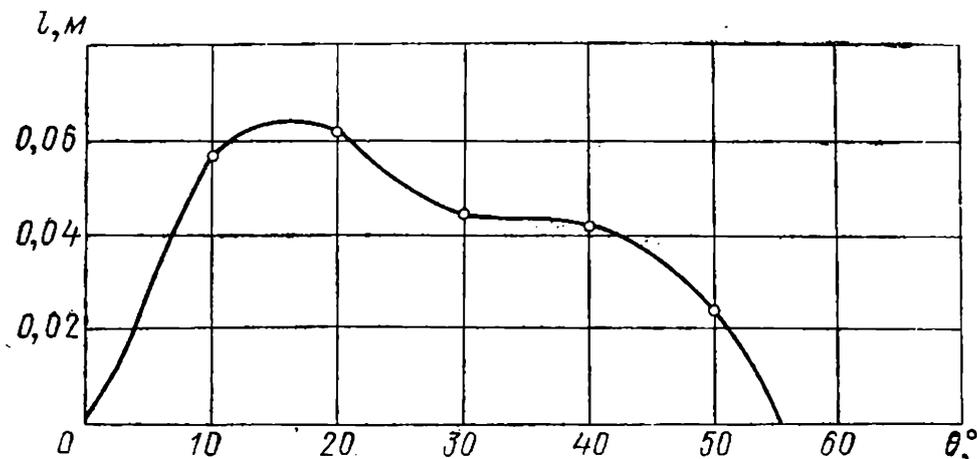


Рис. 25. Диаграмма статической остойчивости траулера «И»

Таким образом, ни одна из нормируемых характеристик диаграммы статической остойчивости при ледовой нагрузке в 40 т не удовлетворяла Нормам Регистра СССР.

Имевший место случай тяжелого обледенения СРТМ «Меркурий», когда масса льда, образовавшегося на судне, достигала 65 т, закончился благополучно. Диаграмма статической остойчивости СРТМ «Меркурий» приведена на рис. 26. Показатели его остойчивости даны в табл. 16, из которой следует, что в условиях фактического обледенения критерии остойчивости, за

## Показатели устойчивости СРТМ «Меркурий»

Характеристика	Масса льда, т		
	0	17	65
$\Delta$ , т	765,6	782,6	830,5
$d_{\text{ср}}$ , м	3,22	3,27	3,40
$z_g$ , м	3,86	3,93	4,13
$z_g$ критич, м	3,95	3,96	3,97
$l_m$ , м	0,360	0,323	0,169
$\theta_m$ , °	53	40	30
$\theta_v$ , °	80	80	69
$h_0$ , м	0,66	0,59	0,40
$\theta_k$ , °	11	12	13
$l_{\text{опр}}$ , м	0,227	0,197	0,090
$M_c$ , т · м	173,7	154,5	74,8
$M_{\text{кр}}$ , т · м	139,5	138,0	131,5
$K$	1,24	1,12	0,57

исключением углов максимума и заката диаграммы, не удовлетворяли Нормам Регистра СССР.

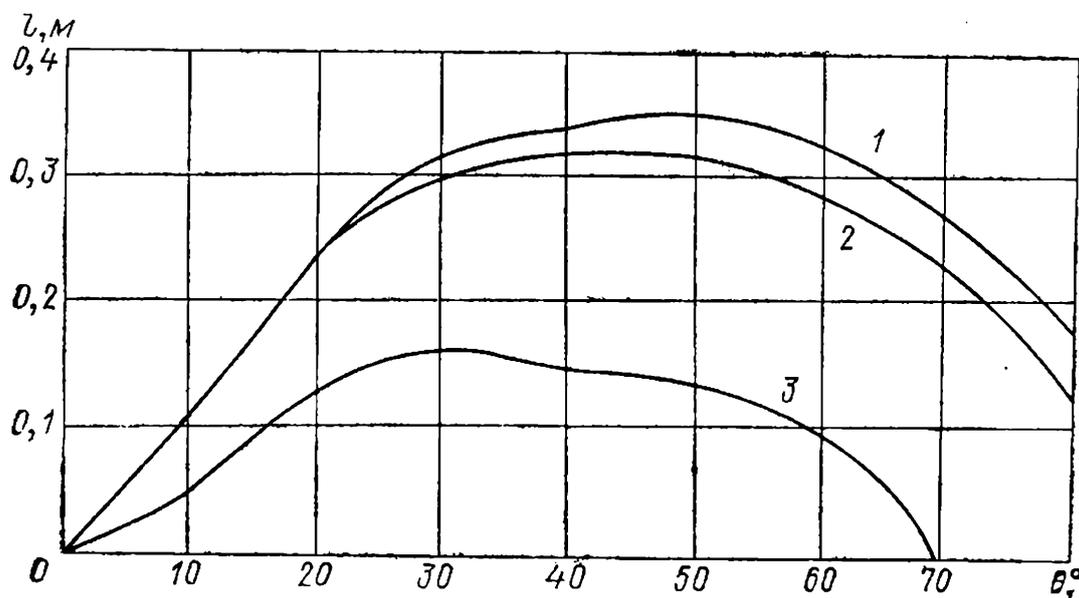


Рис. 26. Диаграмма статической устойчивости СРТМ «Меркурий».

1—без обледенения; 2—при обледенении, удовлетворяющем Нормам Регистра СССР; 3—при фактическом обледенении (масса льда 65 т)

При обледенении, когда масса льда не превышает 17 т, все требования Норм Регистра СССР удовлетворяются.

Даже без обледенения остойчивость морского буксира «П» не удовлетворяла Нормам Регистра СССР при некоторых вариантах нагрузки (табл. 17).

Таблица 17

Показатели остойчивости буксира «П»

Характеристика	Судно	
	с полным грузом	при наихудших условиях нагрузки
$h_0, \text{ м}$	1,02	0,87
$\theta_m, ^\circ$	30,5	29,5
$\theta_p, ^\circ$	53,5	49,3
$K$	1,5	—

## § 11. СООТВЕТСТВИЕ ФАКТИЧЕСКОГО ОБЛЕДЕНЕНИЯ РАСЧЕТНЫМ НОРМАМ

Рассматривая нормы остойчивости, принятые в разных странах, можно прийти к выводу, что, несмотря на различный подход к проблеме нормирования обледенения, все нормы прямо или косвенно определяют такие характеристики:

- типы судов, для которых необходим учет обледенения;
- географические районы возможного обледенения;
- расчетную массу льда на единицу площади судовых поверхностей;
- положение ЦТ льда;
- характер распределения льда по судну;
- границы возможного ледообразования по высоте;
- допустимую степень влияния льда на диаграмму остойчивости.

Совокупность ответов по этим пунктам и определяет нормы остойчивости при обледенении. Однако указанные пункты еще не исчерпывают всей проблемы и оставляют без ответа ряд важных вопросов. Так, например, ни в одних нормах не учтена прямо или косвенно скорость образования льда на судне; не принята во внимание возможная несимметричность ледовой нагрузки относительно диаметральной плоскости.

Обледенение представляет угрозу для судов всех типов, в том числе и военных. По мнению британских специалистов,

военным судам обледенение угрожает даже в большей степени, чем судам транспортного флота. Объясняется это тем, что военные корабли большинства классов имеют низкий надводный борт, много конструкций, аккумулирующих лед, и высокие скорости, приводящие к сильному забрызгиванию.

Обледенению подвергались военные корабли всех классов, эскортировавшие конвои в Гренландском и Баренцевом морях во время второй мировой войны. Хотя только один корабль в то время погиб от обледенения, многие находились на грани потери остойчивости.

Больше всего от обледенения страдают промысловые суда, находящиеся значительное время в районах с суровыми климатическими условиями. Кроме того, быстрый уход из области обледенения для них не всегда возможен. Большинство промысловых судов имеют относительно небольшие размеры, водоизмещение менее 500 т и низкий надводный борт, поэтому в некоторых странах обледенение учитывается в нормах остойчивости только для промысловых судов и проводимые исследования ориентируются на обеспечение именно их безопасности.

Однако такой подход представляется неправильным, поскольку любое судно промыслового, транспортного или вспомогательного флота, находящееся в соответствующих климатических районах, подвержено опасности обледенения. Крупнотоннажные и высокобортные суда страдают от этого явления меньше, вследствие их пониженной заливаемости и забрызгиваемости. На них образуется меньшее количество льда, сохраняются более высокие характеристики остойчивости.

Подавляющее большинство случаев гибели и возникновения тяжелых аварийных ситуаций от обледенения приходится на долю рыболовных судов. Особенно опасно обледенение для малотоннажных и среднетоннажных промысловых судов. Однако малотоннажные суда ограниченного района плавания могут избежать обледенения, укрывшись в порту-убежище. Поэтому больше всего от этого явления страдают среднетоннажные промысловые суда неограниченного района плавания. Из 163 случаев опасного обледенения, зафиксированных в 1955—1967 гг., на долю СРТ приходится 96 случаев, РТ — 65 и БМРТ — всего 2 случая [38].

Это объясняется также тем, что высота надводного борта судов типа БМРТ в 3—5 раз превышает минимально допустимую величину по Правилам Регистра СССР. На судах типа РТМ «Тропик» превышение составляет 128%, СРТР «Океан» — 122% и СРТ-400 — 46%. Избыточный надводный борт умень-

шает заливаемость и забрызгиваемость, а следовательно, и обледенение. Поэтому на БМРТ и отмечается при обледенении медленное нарастание льда [28].

Эксплуатация судов длиной менее 20 м в условиях возможного обледенения, как правило, не должна допускаться. Если такие суда все же направляются в зону возможного обледенения, их остойчивость с учетом обледенения должна удовлетворять условиям:  $l_m \geq 0,25$  м;  $\theta_m \geq 30^\circ$ ;  $\theta_v \geq 60^\circ$ . Метацентрическая высота рыболовных и промысловых судов должна быть не менее 0,05 м или составлять 0,003 ширины судна в зависимости от того, что больше [57].

У транспортных судов обледенение обычно лишь сопутствует потере остойчивости по другим причинам. Из рассмотренных в работе [1] 193 случаев аварий морских транспортных судов от потери остойчивости обледенение в той или иной степени отмечено в 11 случаях, но только в 3 случаях его можно считать первопричиной аварии (аварии парохода «К», судна № 6012 и «Терезы Русс»). Опрокидывание парохода «К» произошло в 1962 г. в бухте Иматра под действием снега, скопившегося на нем за время зимовки [1]. Следовательно, этот случай не может приниматься во внимание в исследованиях по нормированию остойчивости. Возможен дифференцированный подход к учету случаев обледенения при нормировании остойчивости в зависимости от размеров судов.

Распределение вероятности обледенения по сезонам и районам на основании обширного статистического материала приведено в работе [4]. Здесь уместно лишь обратить внимание на то, что случаи тяжелого обледенения наблюдаются и в таких районах, где по Правилам Регистра СССР действуют уменьшенные расчетные нормы массы льда на единицу площади. Примером может служить Балтийское море.

Во всех бассейнах отмечались случаи, когда количество льда на единице площади судна значительно превышало расчетную величину по Нормам Регистра СССР и других классификационных обществ.

Расчетная масса льда в  $30 \text{ кг/м}^2$  для горизонтальных и в  $15 \text{ кг/м}^2$  для вертикальных поверхностей по Нормам Регистра СССР соответствует примерно толщине льда на палубе в 3 см. Как показывает практика, такое количество льда при интенсивном обледенении может образоваться за 1—2 ч.

Исследования, проведенные Владивостокским отделением института Гипрорыбфлот, показали, что рыболовные суда часто на промысле подвергаются обледенению в гораздо большей

степени, чем это предусмотрено расчетом. В частности, на СРТ по нормам масса льда принимается равной примерно 10 т, а фактически, по многочисленным свидетельствам моряков, она достигает 20 т и более [29].

Анализ более чем 1000 случаев обледенения промысловых судов в Беринговом, Охотском, Баренцевом и Балтийском морях показал, что вероятность большего, чем предусмотрено Нормами Регистра СССР, обледенения составляет для Балтийского моря 76%, для Берингова — 71,5%, для Охотского и Японского морей — 60% [22].

Отмечались случаи, когда фактическая масса льда на судне превышала расчетную нагрузку на значительную величину. В разных бассейнах степень превышения неодинакова. Так, фактическая масса льда по отношению к расчетной составляла: в Охотском море — 200%, в Баренцевом — 267%, в Беринговом — 358%, в Японском — 40%, а в Балтийском море даже 1000%.

Следует, однако, иметь в виду, что случаи опасного обледенения не так уж часты и составляют всего около 4% от всех случаев обледенения [14]. Это в некоторой степени объясняется тем, что малые и средние промысловые суда при получении угрожающего прогноза погоды уходят в укрытия.

Увеличение массы льда по сравнению с нормативными величинами влечет за собой и повышение ЦТ льда в большей степени, чем было предусмотрено расчетом. Из работы [22] следует, что в зависимости от района плавания фактическое возвышение ЦТ над основной плоскостью составляет от допустимого значения этой характеристики по Нормам Регистра СССР следующую величину: в Охотском море — 110,9%, в Японском — 116,6%, в Баренцевом — 118,1%, в Беринговом — 131,0%, в Балтийском — 161%.

ЦТ массы льда в процессе обледенения перемещается по высоте. При обледенении вертикальных поверхностей и такелажа наблюдается снижение ЦТ льда по мере его нарастания. Объясняется это явление более быстрым отложением льда на нижних частях переборок, рангоута и т. п., что можно увидеть на рис. 27—29. Однако ЦТ судна все равно повышается, меняется только скорость этого повышения.

Положение ЦТ льда по высоте зависит также от плотности льда, которая в разных случаях обледенения на участках корпуса и надстроек неодинакова. На судах типа СРТ при колебании плотности льда в пределах от 0,930 до 0,962 т/м<sup>3</sup> и изме-

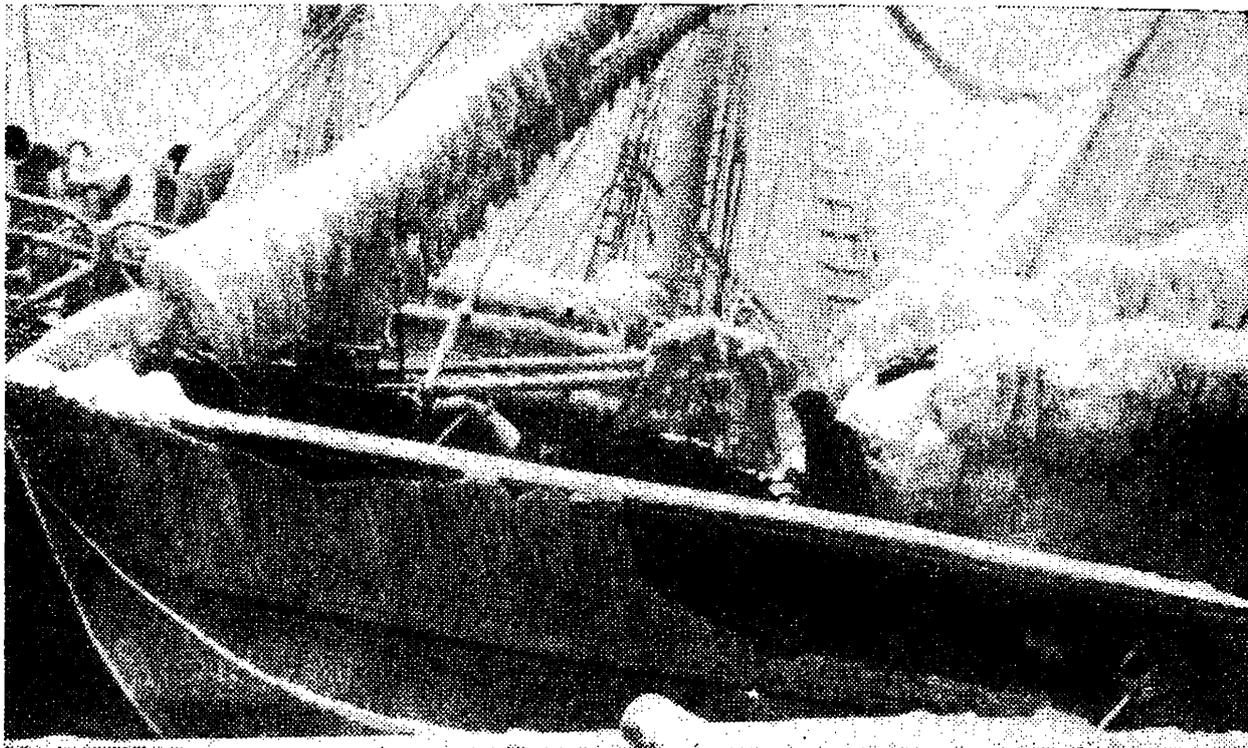


Рис 27. Обледенение СРТ-2001

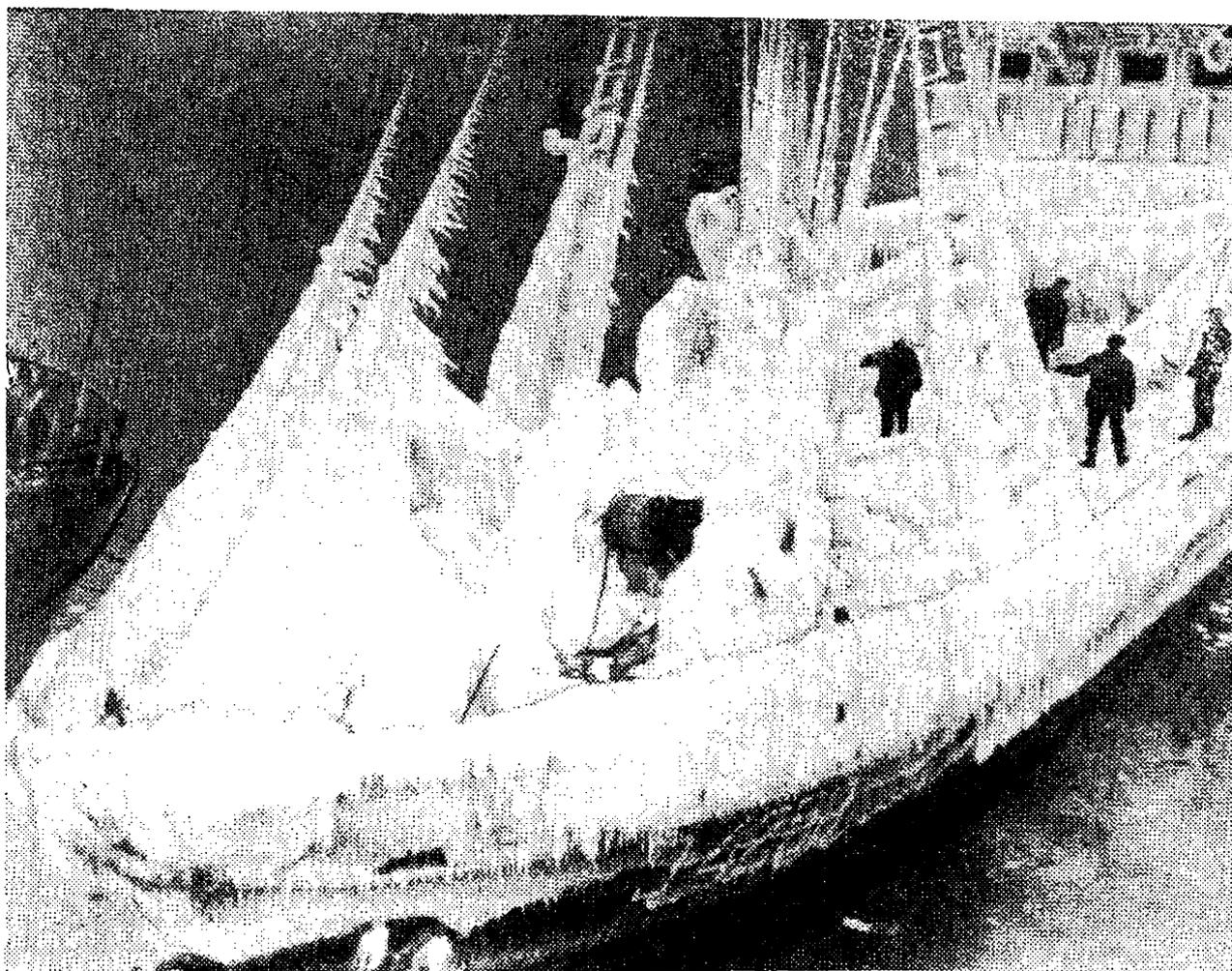


Рис. 28. Обледенение судна типа СРТ

нении от этого общей массы льда на судне положение ЦТ льда по высоте изменялось на 35 мм [38].

По японским данным, плотность льда изменялась в пределах от 0,90 т/м<sup>3</sup> на носовой и кормовой палубе до 0,78 т/м<sup>3</sup> на обшивке мостика, однако эти цифры сомнительны.

В нормах остойчивости всех стран установлено расчетное количество льда, приходящегося на 1 м<sup>2</sup> судовых поверхностей.

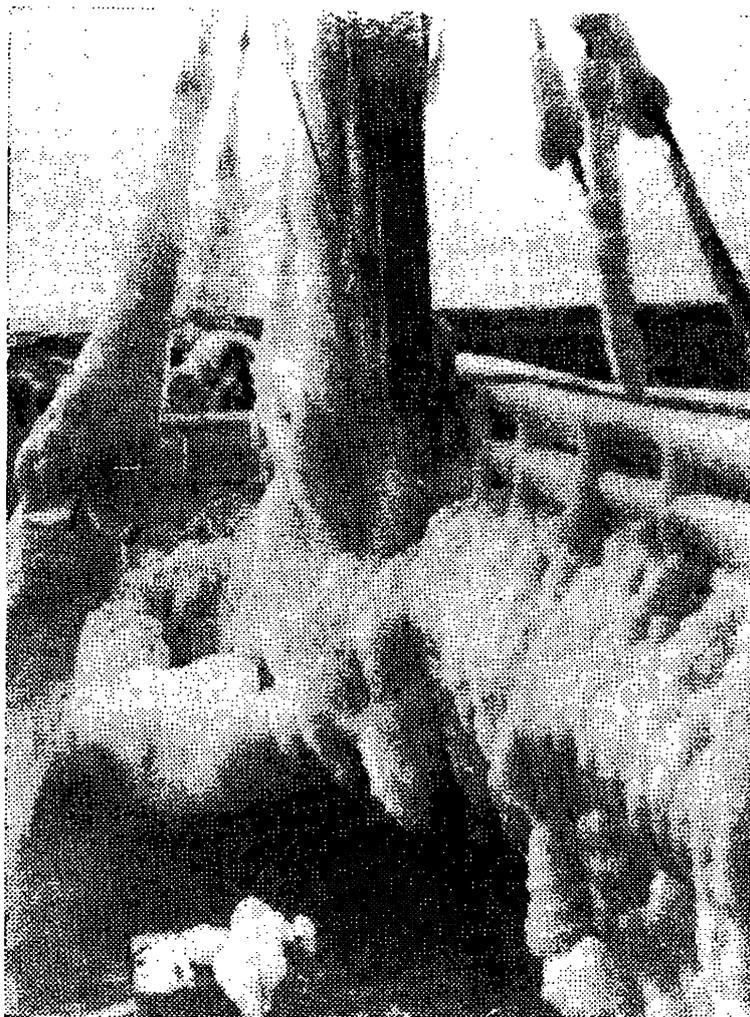


Рис. 29. Обледенение танкера «Убаган»

Классифицируются для этой цели судовые поверхности по-разному. Наиболее схематично они определены в японских нормах, где установлена только одна расчетная поверхность: прямоугольник с габаритными размерами судна в плане. Самая детальная классификация дана в нормах Канады, где поверхности разделены на пять групп, для каждой из которых установлена своя масса льда на 1 м<sup>2</sup> или на 1 пог. м.

Для плоских поверхностей японскими нормами предусмотрена максимальная масса льда, равная  $100 \text{ кг/м}^2$  (правда, сюда косвенно включена масса льда и на вертикальных поверхностях). Минимальная нагрузка —  $2,5 \text{ кг/м}^2$  установлена в нормах КНР для рангоута, такелажа и леерных ограждений. В нормах ГДР, ПНР и Канады предусмотрен расчет массы льда на рангоуте и такелаже исходя из их длины. На 1 пог. м этих деталей расчетная ледовая нагрузка тоже колеблется в широком диапазоне: от  $5 \text{ кг/пог. м}$  в нормах ГДР и ПНР до  $42 \text{ кг/пог. м}$  в канадских нормах.

Объективно решить вопрос о соответствии этих нормативов реальным условиям можно на основе наблюдений за обледенением судов. Поэтому при исследованиях условий обледенения важным обстоятельством является определение массы образовавшегося льда на единице поверхности судна.

По наблюдениям, выполненным на Дальнем Востоке зимой 1968 и 1969 гг. на борту СРТ «Академик Бер», масса льда на вертикальных поверхностях колебалась в пределах от  $15,9 \text{ кг/м}^2$  до  $47,5 \text{ кг/м}^2$  и на горизонтальных — от  $25,0 \text{ кг/м}^2$  до  $57,4 \text{ кг/м}^2$  [38].

На СРТ «Профессор Сомов» зимой 1969 г. проводились наблюдения в Баренцевом море. Здесь отмечены следующие массы льда,  $\text{кг/м}^2$ :

Верхняя палуба и мачта . . . . .	34
Фальшборт . . . . .	36
Планширь фальшборта . . . . .	84
Лобовая стенка надстройки . . . . .	7
Тамбуры и люки . . . . .	50
Такелаж . . . . .	23

Весной 1968 г. в Баренцевом и Норвежском морях наблюдения за обледенением проводились на экспедиционном судне «Полярник», на котором зафиксировано следующее количество льда на единицу поверхности,  $\text{кг/м}^2$  ( $\text{кг/пог. м}$ ):

Палуба и фальшборт . . . . .	35
Планширь фальшборта . . . . .	85
Тамбуры и люки . . . . .	50
Лобовая стенка надстройки . . . . .	7
Боковая стенка надстройки . . . . .	2
Палубные механизмы . . . . .	80
Такелаж фок-мачты . . . . .	23
Штормовые леера . . . . .	10

Наблюдения, проведенные на японских траулерах, также показали большие фактические удельные массы льда. Так, масса льда на палубе менялась в пределах от 18 до  $170 \text{ кг/м}^2$  при

его плотности от 0,80 до 0,94 г/см<sup>3</sup>. Результаты наблюдений на траулере «Яхико Мару № 6», приведенные ниже, даны в линейных единицах толщины ледового покрова (с учетом возможной плотности льда легко перейти к его массе). Для приближенных расчетов можно принять каждые 10 мм толщины льда соответствующими удельной нагрузке в 10 кг/м<sup>2</sup>.

Наибольшая толщина льда (150 мм) отмечена на наружной обшивке в нос от миделя. Наименьшая толщина льда (6—10 мм) оказалась на бухтах манильского троса, лежавшего на корме, и на внутренней поверхности фальшборта в кормовой части судна. Более подробно распределение льда показано в табл. 18. Там, где в таблице приведено несколько цифр, они соответствуют замерам, сделанным в равноотстоящих друг от друга точках по направлению носа или кормы.

Результаты наблюдений на судах свидетельствуют о том, что фактическая масса льда, образовавшегося на единице площади, может значительно превышать расчетную, принятую по Нормам Регистра СССР. Но одной только этой величины недостаточно для суждения о влиянии льда на остойчивость судна. Например, несмотря на очень большую массу льда, намерзающего на единицу площади планширя фальшборта, он не будет аккумулялировать много льда, так как имеет сравнительно небольшую поверхность.

Важно знать для нормирования остойчивости границы распространения льда по высоте относительные массы льда на отдельных участках судовых конструкций, на горизонтальных и вертикальных поверхностях.

В нормах ряда классификационных обществ (в том числе и в Нормах Регистра СССР) не оговаривается верхняя граница возможного обледенения. В канадских правилах граница обледенения установлена на высоте 6,1 м над верхней открытой палубой. В нормах ПНР и ГДР граница возможного обледенения определена на высоте 10 м над ватерлинией.

Во время наблюдений, проводимых в СССР по программе «Лёд», отмечены такие верхние границы обледенения: для СРТМ «Алаид» — на высоте 9 м над ватерлинией; для экспедиционного судна «Полярник» — 7 м над ватерлинией; для СРТ «Академик Бер» — 8 м над палубой. Ограничение обледенения по высоте хорошо видно на рис. 28.

Это обстоятельство в некоторой степени уже нашло отражение в Нормах Регистра СССР [57], где для плавкранов масса льда на 1 м<sup>2</sup> площадей, расположенных выше 10 м над ватер-

## Распределение льда на траулере «Яхико Мару № 6»

Участок замера	Толщина льда, мм
Верхняя палуба, в нос от рубки, правый борт	56, 60, 70, 120
То же, левый борт	25, 35, 60
Рубка, нижняя часть лобовой переборки	40
Рубка, верхняя часть лобовой переборки, правый борт	65
То же, левый борт	20—30
Рубка, наружная поверхность ограждений, правый борт	70
То же, левый борт	25, 30
Фальшборт, наружная поверхность, правый борт, в нос от миделя	100, 120, 130, 140, 150
То же, в корму от миделя	20, 25, 30, 40, 45, 65, 100
Фальшборт, внутренняя поверхность, правый борт	25
То же, левый борт	7, 25—30
Фальшборт, наружная поверхность в нос от миделя по правому борту	15, 45, 50, 60
То же, по левому борту	20, 40, 45, 50
Бортовой обнос по правому борту	10, 15, 20, 30, 35
То же, по левому борту	20, 35, 40
Верхняя часть поручней обноса по правому борту	30, 35, 40
То же, по левому борту	25, 30
Люк рыбного трюма	50, 60, 80
Крышка люка кладовой	30
Комингс люка кладовой	30
Мачта и грузовая стрела, боковая поверхность	15
То же, верхняя поверхность	40—50
Леера в носовой части	20—25
Передняя поверхность носовой платформы	50—70
Верхняя поверхность носовой платформы	6
Передняя поверхность кормовой платформы	10
Верхняя поверхность кормовой платформы	15
Носовые и кормовые битенги	15—20
Концевая переборка	20
Манильский трос на корме	10—15

линией, принимается уменьшенной в два раза по сравнению с обычными нормами.

Возвышение элементов судовых конструкций над ватерлинией или палубой не имеет значения только в случае пресноводного обледенения при выпадении осадков, но тяжелого обледенения при этом не наблюдается. Так, обледенению в тихую погоду при тумане подвергся СРТ «Серафимович» в районе Мурманска. Льдом покрылись все надводные части судна, которые сохранили при этом геометрические формы, пропорционально увеличившись в размерах.

Высота обледенения растет с увеличением скорости кажущегося (курсового) ветра, но, вероятно, для судна каждого типа при определенной скорости ветра есть предел, выше которого брызги не залетают.

Степень обледенения зависит от коэффициента обледенения, определяемого по формуле

$$\beta = \frac{m_{\text{л}}}{m_{\text{в}}}, \quad (12)$$

где  $m_{\text{л}}$  — масса образующегося на судовых поверхностях льда;  $m_{\text{в}}$  — водность потока, т. е. количество воды в брызговом облаке.

Таблица 19

Высота обледенения мачт СРТ

Частота забрызгиваний, мин <sup>-1</sup>	КУ волны, °	Средняя скорость курсового ветра, м/с	Высота обледенения, м
2,5	20—30	10,7	3,5
3,2	0—7	13,2	4,5
3,2	5—166	15,2	4,5
4,3	5—30	13,6	4,5
4,5	3—30	16,2	5,5
4,5	29—39	13,7	6,0
5,3	9—25	14,5	5,0
5,8	31—94	12,2	7,0
5,8	5—15	18,6	5,0
6,2	5—166	18,2	5,5
6,3	0—130	15,0	4,0
8,0	5—35	22,2	6,5
9,0	15—25	19,1	6,0

Распределение водности брызгового облака по высоте хорошо аппроксимируется эмпирической формулой

$$m_{\text{в}} = 2,36 \cdot 10^{-5} \cdot e^{-0,55h}, \quad (13)$$

где  $h$  — высота над палубой, для которой определяется  $m_{\text{в}}$ , м.

При скорости распространения брызгового облака порядка 6 м/с и времени его существования около 6 с общая водность брызгового облака над палубой судна типа СРТ за один всплеск приблизительно равна 300 л [50].

Очевидно, что кроме коэффициента обледенения степень обледенения существенно зависит, как уже говорилось выше, от частоты забрызгивания, направления и скорости движения судна относительно ветра и волнения. Распространение льда по высоте в зависимости от перечисленных факторов иллюстрируется табл. 19, взятой из работы [50].

Как видим, есть основания для ограничения по высоте расчетной зоны возможного обледенения судовых поверхностей при нормировании остойчивости.

Весьма сложно определить относительные массы льда, образующегося на различных судовых конструкциях. На каждом судне есть участки интенсивной аккумуляции льда. Так, например, на рис. 29 показана усиленная аккумуляция льда на переходном мостике танкера при почти свободной от льда палубе. Кроме того, на распределение по судну льда влияют и внешние условия: сила и направление ветра и волнения, а также продолжительность обледенения.

Обледенение исследовали на моделях траулеров в опытовом климатическом бассейне фирмы «Виккерс — Армстронг лимитед» [20, 86] при температуре воды +1,1 °С, температуре воздуха от —10 до —6,1 °С, скоростях ветра 20—25 м/с и различных КУ к ветру. Модели были изготовлены в масштабах 1:48 и 1:12. Начальную метацентрическую высоту изменяли путем перемещения груза по вертикали.

На моделях получены интересные сведения о распределении ледовой нагрузки по различным судовым конструкциям, влиянии на остойчивость асимметрии обледенения, зависимости интенсивности ледообразования от КУ к ветру и т. п.

Для положения судна носом против ветра и волнения получены следующие результаты (в пересчете на натурное судно водоизмещением 1115 т).

Опрокидывание на тихой воде происходило, когда масса льда достигала 152 т, т. е. 13,6% от водоизмещения. Лед массой 145 т распределялся по судовым поверхностям (%) следующим образом:

Главная палуба, ботдек и релинги . . . . .	48,48
Рангоут, такелаж, антенны, шлюпочное устройство и т. п. . . . .	31,03
Палуба полубака и брашпиль . . . . .	13,79
Надстройки . . . . .	6,90
Итого . . . . .	100,00

Более детально распределение льда на рангоуте, такелаже и различных мелких судовых конструкциях (%), которые в целом дали довольно большую аккумуляцию льда (более 31%), характеризуют приводимые цифры:

Релинги полубака . . . . .	5,52
Мачта радара, компас, релинги . . . . .	4,14
Фок-ванты, выбленки . . . . .	3,97
Бизань-ванты, выбленки . . . . .	2,41
Шлюпки и шлюпбалки . . . . .	2,07
Талрепы, блоки, соединения . . . . .	1,55
Грузовая стрела № 2 и оттяжки . . . . .	1,55
Фордуны . . . . .	1,38
Тралоподъемные тали . . . . .	1,38
Фор-стенга-штаг . . . . .	1,20
Форштаг . . . . .	1,03
Грузовая стрела № 1 . . . . .	0,86
Бизань-штаг . . . . .	0,86
Бакштаг . . . . .	0,86
Антенное устройство . . . . .	0,69
Фок-мачта . . . . .	0,69
Бизань-мачта . . . . .	0,52
Фордуны бизань-мачты . . . . .	0,35
Итого . . . . .	31,03

Лед, расположенный на рангоуте и такелаже, оказывает особенно существенное влияние на остойчивость судна благодаря большому возвышению над основной плоскостью.

Таблица 20

**Повторяемость обледенения**

Участок обледенения	Число случаев	Повторяемость, %
Борт	8	2
Полубак	14	3
Полубак и палуба	119	24
Такелаж и рангоут	12	2
Надстройка и палуба надстройки	91	18
Полубак, палуба, такелаж и рангоут	86	17
Полубак, палуба, такелаж и надстройка	150	30
Корма	7	2
Все судно	7	2

Из анализа случаев обледенения судов, приведенных в работе [62], следует, что чаще всего наблюдается обледенение верхней палубы (429 случаев), затем надстройки (236 случаев). Борты и фальшборта обледеневают так же часто, как рангоут и такелаж (147 и 146 случаев соответственно). Реже обледеневают палубные механизмы (104 случая) и совсем редко — мостик и шлюпочная палуба (23 и 21 случай соответственно).

Повторяемость обледенения основных конструкций судна (табл. 20) рассмотрена в работе [6].



Рис. 30. Обледенение палубы СРТ

На вертикальных поверхностях рыболовных судов лед образуется как с наветренного, так и с подветренного борта, в основном на фальшборте и стенках носовых палубных тамбуров. Мачта, такелаж и леера покрываются бóльшим слоем льда, чем палуба, причем лед на них имеет конусообразную форму, направленную острием вверх. При усилении обледенения масса льда на вертикальных поверхностях увеличивается и приближается по величине к массе на горизонтальных поверхностях. На СРТ палуба несет основную массу льда: от 30 до 80% общей массы льда, образовавшегося на судне (рис. 30). Следует иметь в виду, что распределение льда по судовым конструкциям зависит от типа судна.

В работе [3] приведены сведения о распределении льда по различным судовым конструкциям американских ледоколов типа «Уинд». На основании этих данных были подсчитаны относительные осредненные ледовые нагрузки (%), приведенные ниже:

Главная палуба в нос от волнолома . . . . .	4,3
Главная палуба от волнолома до 66 шп. . . . .	6,1
Главная палуба от 66 до 127 шп. . . . .	8,2
Главная палуба в корму от 127 шп. . . . .	13,9
Штормовые леера в нос от 66 шп. . . . .	2,4
Штормовые леера в корму от 66 шп. . . . .	3,9
Волнолом . . . . .	2,5
Носовая надстройка . . . . .	3,2
Переборка надстройки в нос от 66 шп. . . . .	2,8
Переборки надстройки в корму от 66 шп. . . . .	8,9
Кормовая надстройка . . . . .	24,3
Шлюпочная палуба . . . . .	4,9
Переборки надстройки на шлюпочной палубе от 61 до 92 шп. . . . .	3,7
Переборки надстройки на шлюпочной палубе в нос от 62 шп. . . . .	2,3
Верхняя палуба . . . . .	1,3
Верхний мостик . . . . .	4,9
Мелкие надстройки в нос от 66 шп. . . . .	0,7
Мелкие надстройки в корму от 66 шп. . . . .	1,7
Итого . . . . .	100,0

Несмотря на такую подробную классификацию судовых конструкций, здесь не всегда можно выделить горизонтальные и вертикальные поверхности.

Ледоколы типа «Уинд» подвержены сильному обледенению вследствие большой заливаемости при волнении. При волнении 5—6 баллов, когда эти суда находятся лагом к волнам, крен достигает 45° при периоде бортовой качки 7—8 с. При килевой качке сильно заливаются носовая оконечность до переборки надстройки. Длина судна — 76,2 м, ширина — 18,9 м, высота бор-

та — 11,5 м, осадка — 7,85 м, водоизмещение — 5390 т, мощность главного двигателя — 10 тыс. л. с.

Случай сильного обледенения имели место и на крупных современных ледоколах. Так, толщина льда на ледоколе «Адмирал Макаров» во время обледенения в Охотском море достигала 1 м, а леерные ограждения на нем покрылись сплошным ледяным панцирем. Длина судна — 106,2 м, ширина — 23,1 м, высота борта — 12,86 м [20].

По материалам работы [74] на судах валовой вместимостью до 500 рег. т при движении носом против волны и ветра масса льда (%) распределяется так:

Палуба и палубные механизмы . . . . .	50—65
Борта, фальшборта и планшири . . . . .	18—25
Вертикальные переборки надстроек . . . . .	7—12
Рангоут и такелаж . . . . .	8—15
Прочие поверхности . . . . .	1—2

Отмечается зависимость относительной массы льда от степени обледенения для судов валовой вместимостью порядка 500 рег. т. При слабом обледенении на палубе образуется до 50% всей массы льда, а на бортах и фальшбортах до 30% льда. При более сильном обледенении доля льда на палубе снижается. Относительная масса льда на ней уменьшается до 37%. В меньшей степени снижается относительная масса льда на бортах и фальшбортах (до 28%). Зато доля льда на такелаже по мере усиления обледенения увеличивается с 2 до 10%.

В целом, на вертикальных поверхностях льда откладывается меньше, чем на горизонтальных, но соотношение зависит от общей массы льда на судне. При возрастании массы льда с 5 до 20 т на СРТ отношение масс льда на вертикальных и горизонтальных поверхностях изменяется от 0,54 до 0,70. Однако некоторые исследователи пришли к другим выводам.

Так, В. А. Древич [24] отмечает, что при любых степенях обледенения льда откладывается больше на вертикальных поверхностях (66—82%). При увеличении общей массы льда на судне его доля на вертикальных поверхностях уменьшается. Распределение ледовой нагрузки (%) по судовым конструкциям В. А. Древичем указывается в таких пределах:

Верхняя палуба, полубак (включая люки, механизмы, оборудование) . . . . .	51,1—63,5
Борта и фальшборта (с обеих сторон) . . . . .	20,7—30,3
Надстройки, верхний мостик, шлюпочная палуба, ют, шлюпки . . . . .	11,4—17,6
Мачты, стрелы, рангоут, такелаж . . . . .	1,8—7,1

Такая укрупненная классификация судовых поверхностей не позволяет выделить вертикальные и горизонтальные поверхности.

Значительно подробнее подсчитана ледовая нагрузка на СРТМ «Алаид» [61]. Общее количество льда, равное 12,31 т, распределено по различным частям судна в процентном отношении таким образом:

Палуба полубака . . . . .	6,99
Носовая часть верхней палубы . . . . .	9,59
Кормовая часть верхней палубы . . . . .	27,63
Фальшборт . . . . .	16,74
Планширь фальшборта . . . . .	2,27
Лобовая стенка надстройки . . . . .	3,00
Стенка надстройки правого борта . . . . .	4,30
Стенка надстройки левого борта . . . . .	4,63
Лобовая стенка рубки . . . . .	3,49
Обнос крыльев рубки . . . . .	1,54
Наружная обшивка корпуса . . . . .	11,62
Крыша лаборатории . . . . .	2,52
Леерное ограждение полубака . . . . .	2,60
Леерное ограждение главной палубы . . . . .	1,30
Оттяжки стрел и тросы . . . . .	0,81
Мачты и стрелы . . . . .	0,97
Итого . . . . .	100,0

Таким образом, на горизонтальные поверхности приходится 49% ледовой нагрузки, на вертикальные поверхности — 45,32% и на цилиндрические поверхности (леера, тросы, мачты и стрелы) — 5,68%.

К сожалению, столь подробный подсчет массы льда делался не всеми исследователями. Кроме того, судовые конструкции по-разному классифицировались, что затрудняет обобщение результатов. В табл. 21 приведены данные наблюдений за образованием льда на трех судах.

По наблюдениям, проведенным на СРТ «Академик Бер», определены следующие средние значения распределения льда, %:

Палуба . . . . .	27
Фальшборт . . . . .	25
Рангоут . . . . .	24
Палубные устройства . . . . .	17
Надстройка . . . . .	7

Представляется наиболее правильным разделить судовые поверхности на четыре основные категории: горизонтальные, вертикальные, цилиндрические, палубные устройства и

механизмы. В таком случае по СРТ распределение льда будет следующим:

горизонтальные — 51%, при среднеквадратическом отклонении 20%;

вертикальные — 22%, при среднеквадратическом отклонении 5%;

Таблица 21

Распределение льда на судах (%)

Участок обледенения	Судно		
	«Профессор Сомов» (масса льда 11—28,4 т)	«Полярник» (масса льда 3—15 т)	«Айсберг» (масса льда 9,8 т)
Верхняя палуба, планширь, шлюпочная палуба, люки, настилы	11,5—49,6	21,9—53,7	43,8
Фальшборт, тамбуры, надстройки, рубка, обшивка бортов	14,8—28,4	27,8—28,4	21,1
Палубные механизмы и устройства	15,6—32,6	11,5—31,3	26,9
Рангоут, такелаж	3,3—35,5	6,9—18,4	8,2

цилиндрические — 14%, при среднеквадратическом отклонении 14%;

палубные устройства и механизмы — 17%, при среднеквадратическом отклонении 10% [37].

Из всего рассмотренного выше материала следует, что по мере увеличения массы льда на судне возрастает относительное обледенение вертикальных поверхностей. При сильном обледенении масса льда на единице площади вертикальных поверхностей приближается к этой величине для горизонтальных поверхностей. По Нормам Регистра СССР отношение масс льда на вертикальных и горизонтальных поверхностях принято 1:2, а по материалам натуральных наблюдений оно составляет 1:1,3 [40, 50].

Для устойчивости судна имеет значение не столько абсолютная или относительная масса образовавшегося льда, сколько статический момент, который она создает. По СРТ получены относительные величины статических моментов от масс льда, образовавшегося на различных судовых конструкциях (%), представленные в табл. 22 [36].

Из табл. 22 наглядно видно, в частности, как перераспределяется масса льда между палубой, рангоутом и такелажем.

Конструкция судна и условия обледенения существенно сказываются на распределении льда по судовым поверхностям. Приведенные выше цифры относятся в основном к СРТ

Таблица 22

Относительные величины статических моментов масс льда (%)

Участок обледенения	Общая ледовая нагрузка, т		
	8,1	13,7	21,6
Палуба	41	29	20
Такелаж и рангоут	14	25	31
Фальшборт	24	23	20
Надстройка	7	8	8
Палубные устройства и механизмы	14	15	15
Шлюпочная палуба	—	—	6

(рис. 31). На судах других типов распределение льда может быть иным, что видно из приведенных выше цифр, а также

Таблица 23

Распределение льда на «Яхико Мару № 6»

Участок обледенения	Масса, т	Возвышение ЦТ над основной плоскостью, м	Статический момент	
			т·м	%
Верхняя палуба	1,74	2,88	5,0	25,1
Рубка	0,46	4,12	1,9	9,5
Поверхность фальшборта:				
наружная	2,06	3,54	7,3	36,7
внутренняя	0,32	3,29	1,1	5,5
Планширь фальшборта	0,57	4,00	2,3	11,6
Крышка и комингс люка	0,56	3,12	1,7	8,6
Такелаж, мачты и грузовая стрела	0,14	4,65	0,6	3,0
Итого	5,8	3,4	19,9	100,0

подтверждается японскими наблюдениями, результаты которых даны в табл. 23.

В результате наблюдений, проведенных на советских судах, установлено, что ЦТ льда на палубе обычно ниже ЦТ всей

массы льда на судне, что существенно уменьшает влияние обледенения палубы на остойчивость судна.

В целом, анализируя приведенные выше цифры, можно сделать вывод, что нормирование расчетной массы льда на единицу площади судовой поверхности исходя только из того, гори-

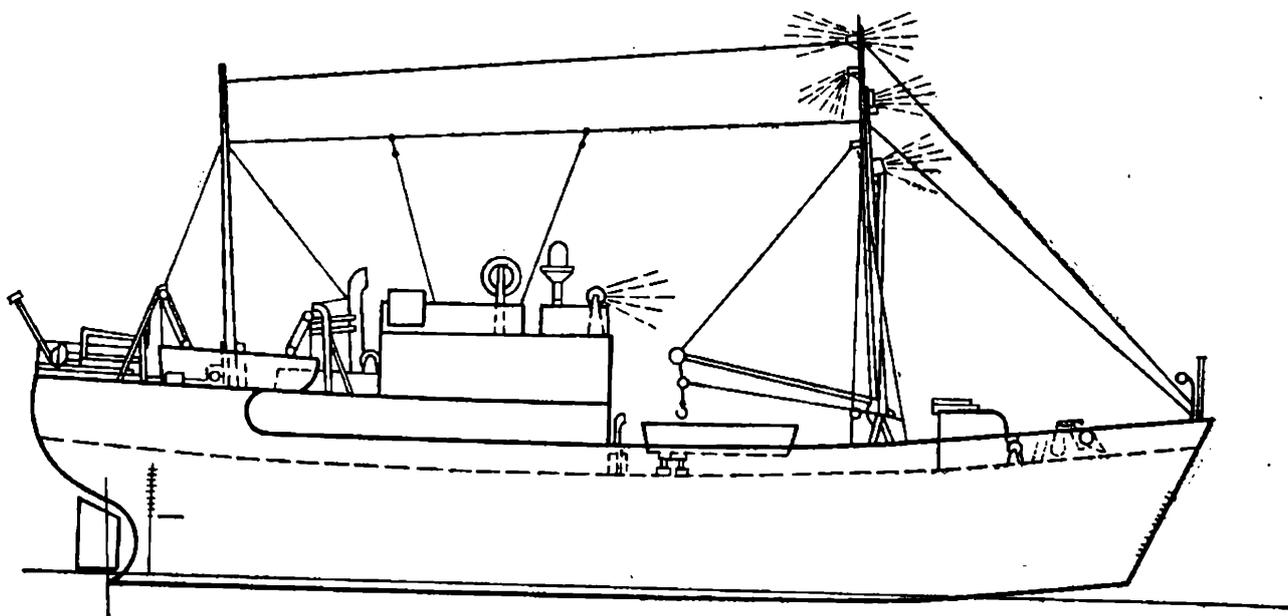


Рис. 31. Схематический чертеж СРТ

зонтально или вертикально она расположена, недостаточно полно отражает реальную картину обледенения судна.

Сомнение вызывает существующая практика установления расчетных норм обледенения исходя из деления всех судовых поверхностей только на горизонтальные и вертикальные. Вероятно, целесообразно отдельно установить нормы обледенения для цилиндрических конструкций малых диаметров (меньше 0,5 м). Как показали исследования [8], интенсивность обледенения таких конструкций значительно выше, чем плоских. На единице цилиндрической поверхности диаметром 1 см льда образуется примерно в два раза больше, чем на плоской.

---

## Глава IV. Борьба с обледенением

### § 12. УЧЕТ ОБЛЕДЕНЕНИЯ ПРИ НОРМИРОВАНИИ ОСТОЙЧИВОСТИ

Нормирование остойчивости, которое имеет почти полувековую историю, служит одним из средств предотвращения аварий судов вследствие обледенения. В 1932 г. в связи с гибелью двух

траулеров в Баренцевом море в условиях тяжелого обледенения Л. М. Ногид впервые предложил нормы остойчивости для рыболовных судов, которые впоследствии были одобрены Регистром СССР. Данные нормы не могли быть распространены на суда других типов.

Проект норм остойчивости для более широкого класса судов составил в 1939 г. П. Г. Авотин. По этим нормам для судов арктического плавания при расчете остойчивости предусматривается учет обледенения. Количество льда определяется из условий образования 40 кг льда на 1 м<sup>2</sup> открытых палуб и 10 кг льда на 1 пог. м длины мачт, стрел, лееров. Предельная высота обледенения над ватерлинией принята равной 15 м [42].

В послевоенные годы работа была продолжена под руководством С. Н. Благовещенского. Она завершилась в 1948 г. принятием Временных норм остойчивости для торговых морских и рейдовых судов. Впоследствии в нормы остойчивости неоднократно вносили дополнения и изменения.

По Нормам Регистра СССР проверка остойчивости с учетом обледенения производится для судов, плавающих в зимнее время в зимних сезонных зонах при наихудшем в смысле остойчивости расчетном варианте загрузки. Учитывают изменение в результате обледенения водоизмещения, возвышения ЦТ и площади парусности. Массу льда считают идущей в перегрузку и не включают в дедвейт.

Для определения расчетной массы льда на единицу площади судна установлено два района. Первый включает в себя зимние сезонные зоны севернее параллели 66°30' с. ш. и южнее параллели 60° ю. ш., а также Берингово, Охотское моря и Татарский пролив в зимнее время. Здесь масса льда на 1 м<sup>2</sup> горизонтальных поверхностей принимается равной 30 кг, а на 1 м<sup>2</sup> площади парусности — 15 кг.

Во второй район входят все остальные зимние сезонные зоны, а также в зимнее время Черное и Азовское моря севернее параллели 44° с. ш. и Каспийское море севернее параллели 42° с. ш. Масса льда на 1 м<sup>2</sup> судовых поверхностей здесь принимается вдвое меньшей, чем в первом районе.

Для рыболовных судов установлена следующая расчетная масса льда, кг/м<sup>2</sup> (кг/пог. м):

Открытая верхняя палуба и палуба бака . . . . .	40
Площадь проекции на диаметральной плоскости надводного борта ниже верхней палубы и палубы бака (с одного борта)	15

Площадь проекции на диаметральною плоскость фальшборта, козырька верхней палубы и палубы бака (полусумма площадей левого и правого бортов) . . . . .	50
Площадь проекции на диаметральною плоскость одной из стенок . . . . .	10
Надстройки (кроме бака), рубки, фальшборта надстроек и рубок, габаритные площади леерных ограждений, расчетные площади шлюпок . . . . .	10
Рангоут диаметром менее 0,15 м, такелаж и антенны . . . . .	3

В площадь горизонтальных поверхностей, подверженных обледенению, включают площади всех открытых палуб и переходов независимо от наличия навесов. Площади палубных механизмов и устройств, крышек люков и т. п. входят в площадь палуб и отдельно не учитываются. Момент по высоте от ледовой нагрузки на этих поверхностях определяют по возвышению ЦТ соответствующих участков палуб и переходов.

Площадь парусности и возвышение ее ЦТ определяют для минимальной осадки, что возможно без учета массы льда. Площадь парусности несплошных поверхностей получают увеличением на 10 или 7,5% площади парусности сплошных поверхностей в зависимости от нормы обледенения. Первая цифра относится к случаям применения больших норм обледенения, вторая — меньших.

Статический момент площади парусности несплошных поверхностей получают увеличением на 20 или 15% статического момента площади парусности сплошных поверхностей в зависимости от нормы обледенения. Большие цифры соответствуют большей норме обледенения, так же, как и при расчете площадей.

Если необходимо точнее определить площадь парусности несплошных поверхностей, их габаритные площади при обледенении умножают на следующие коэффициенты заполнения:

Леера, затянутые сеткой . . . . .	1,2 (0,6 без обледенения)
Леера, не затянутые сеткой . . . . .	0,8 (0,2 » » )
Крановые фермы решетчатого типа . . . . .	1,0 (0,5 » » )

Для рангоута, снастей и вант коэффициент заполнения принимают в зависимости от отношения возвышения точки крепления вант к мачте над фальшбортом  $z_k$  и величины разноса вант у фальшборта  $b_k$ . Эта зависимость представлена в табл. 24.

Угол заката диаграммы статической остойчивости, построенной с учетом обледенения, должен быть не менее  $55^\circ$ , в то время как без обледенения — не менее  $60^\circ$ . Максимальное плечо диаграммы статической остойчивости для судов ограниченного рай-

## Коэффициенты заполнения

$z_k/b_k$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Без обледенения	0,14	0,18	0,23	0,21	0,31	0,35	0,40	0,44	0,48	0,52	0,57	0,61
При обледенении	0,27	0,34	0,44	0,51	0,59	0,66	0,76	0,84	0,91	1,00	1,00	1,00

она плавания при крене не менее  $25^\circ$  должно составлять 0,2 м и более.

Для судов с отношением ширины к высоте борта более чем 1:2 Нормами остойчивости Регистра СССР допускается при обледенении уменьшение наполовину угла заката диаграммы.

Ниже приведены основные сведения об учете обледенения в нормах остойчивости ряда иностранных классификационных обществ.

В ГДР обледенение учитывают в диаграмме статической остойчивости для наихудшего варианта нагрузки. При этом установлены такие расчетные нормы льда на единицу площади, кг/м<sup>2</sup>:

Открытые палубы, люки . . . . .	30
Шлюпки . . . . .	10
Мачты, леера, такелаж, вентиляторы, шлюпбалки . . . . .	5

Указанные нормы удваиваются для судов, плавающих севернее  $60^\circ$  с. ш. и южнее  $60^\circ$  ю. ш.

Возвышение ЦТ льда определяют в соответствии с положением поверхностей, подвергшихся обледенению. Верхняя граница обледенения установлена на высоте 10 м над ватерлинией.

В Канаде обледенение учитывают для судов, плавающих в северо-западной части Атлантического океана. Приняты следующие нормы обледенения, кг/м<sup>2</sup> (кг/пог. м):

Открытые палубы . . . . .	54
Фронтальные переборки и боковые стенки надстроек и рубок на оба борта . . . . .	37
Габаритные площади лееров, комингсы люков, фальшборт с внутренней стороны . . . . .	78
Рангоут и такелаж до высоты 6,1 м над верхней открытой палубой . . . . .	42

Возвышение ЦТ льда определяют в соответствии с положением обледеневающей поверхности, но в целом по судну

принимают не ниже 2,44 м над палубой для траулеров с бортовым тралением и 1,22 м для траулеров с кормовым тралением.

Диаграмма статической остойчивости с учетом обледенения должна иметь  $l \geq 0,152$  м во всем диапазоне углов от 20 до 35°, угол заката больше 45° и начальную метацентрическую высоту не меньше 0,228 м. Без обледенения указанные величины должны иметь следующие значения:  $l \geq 0,228$  м во всем диапазоне углов крена от 25 до 40°,  $\theta_v \geq 60^\circ$  и  $h_0 \geq 0,305$  м.

В КНР влияние обледенения на остойчивость учитывают для всех судов, которые в зимнее время года постоянно подвергаются обледенению. Точные границы зон и сезонов обледенения правилами не оговариваются. Установлены такие расчетные нормы льда, кг/м<sup>2</sup>:

Горизонтальные поверхности открытых палуб и люков . . .	15
Горизонтальные поверхности шлюпок . . . . .	5
Вертикальные поверхности носовой оконечности судна (выше ватерлинии) . . . . .	10
Мачты, леерные ограждения, такелаж, вентиляторы, шлюпбалки и т. п. . . . .	2,5

Высота обледенения установлена на расстоянии 10 м от действующей ватерлинии. Увеличение коэффициентов заполнения несплошных поверхностей при обледенении аналогично существующим в Нормах остойчивости Регистра СССР.

В случае, если плавание предполагается в районах с особенно сильным обледенением, его нормы должны согласовываться с органами судового надзора.

Нормы остойчивости Польского Морского Регистра для судов, плавающих в арктических районах и зимой в Балтийском и Северном морях, устанавливаются следующие расчетные нормы льда:

Открытые палубы, кг/м <sup>2</sup> . . . . .	30
Рабочая длина мачт, бегучего такелажа, вант и т. п., кг/пог. м	5

Предельную высоту обледенения принимают равной 10 м над поверхностью воды. Возвышение ЦТ льда определяют в соответствии с положением обледеневающих поверхностей.

Угол заката диаграммы статической остойчивости пассажирских и грузовых судов с учетом обледенения должен быть не менее 50°.

По японским нормам учет обледенения предусмотрен только для рыболовных судов. Учет распределения льда по элементам судовых поверхностей не производится. Площадь обледенения вычисляется как площадь прямоугольника с габаритными раз-

мерами, равными длине и ширине судна. Расчетная норма льда принята равной  $100 \text{ кг/м}^2$  для всей этой площади. Возвышение ЦТ льда вычисляется умножением высоты борта на коэффициент 1,5.

Высокие расчетные нормы льда установлены для военных кораблей ФРГ: от  $50$  до  $100 \text{ кг/м}^2$  [48].

Действующие во многих странах официальные нормы учета обледенения судов существенно различаются. Наиболее совершенной следует признать методику Регистра СССР, однако и она не свободна от недостатков. Так, например, в ней не учтено обледенение вертикальных плоскостей лобовых переборок; расчетная норма льда для всех горизонтальных поверхностей принята одинаковой, хотя на самом деле палуба бака и главная палуба обмерзают сильнее, чем палуба надстроек, а носовые палубы сильнее, чем кормовые; недостаточно полно учтена масса льда на мачтах, рангоуте, такелаже и леерах.

В связи с этим в работе [25] предлагается:

1. В числе вертикальных поверхностей, подвергающихся обледенению, учитывать фронтальные проекции лобовых переборок, надстроек, рубок, мачт, лееров. Расчетную норму льда на них принимать равной  $30 \text{ кг/м}^2$ .

2. Леерные ограждения и близко расположенные элементы рангоута считать затянутыми сплошным льдом.

3. Расчетную норму льда на палубе бака и главной палубе до первой надстройки, а также на крышках рубок в этом районе увеличить вдвое, до  $60 \text{ кг/м}^2$  (за исключением высокобортных судов).

4. Позади первой палубной надстройки норму льда оставить прежней.

В результате введения перечисленных выше корректив расчетная норма льда превысит существующую в 1,4—1,7 раза. Произведенный расчет массы льда для транспортных судов нескольких типов дает результаты, приведенные в табл. 25.

Особого учета требует обледенение судов, перевозящих палубный груз (лес, промышленное оборудование, транспортные средства, контейнеры и т. п.). На них создаются благоприятные условия для усиленной аккумуляции льда, а его удаление затрудняется. Широкое развитие контейнерных перевозок требует особых мер по обеспечению безопасности судов и сохранности груза при обледенении. Опыт работы контейнеровозов в арктических, Охотском и других морях показал, что контейнеры на палубе морских судов могут подвергаться значительному обледенению. Скалывание льда сильно затрудняется вследствие

Сравнительные расчетные массы льда

Судно	Общая масса льда на судне (т) по норме		Увеличение нормы, %
	существующей	предлагаемой	
«Беломорсклес»	72	104	145
«Петрозаводск»	63	103	165
«Малоярославец»	47	80	170
«Сестрорецк»	90	123	137

большой высоты контейнеров (особенно при погрузке в 2—3 яруса) и их неровной поверхности. Малая толщина обшивки контейнеров создает опасность их повреждения. Все это требует особого подхода при нормировании обледенения контейнеров, особые требования предъявляются также при учете обледенения палубного груза леса. В работе [57] при расчете обледенения лесовозов верхняя поверхность палубного лесного груза рассматривается как палуба, а его боковые поверхности выше фальшборта — как расчетная площадь парусности. Норма обледенения для этих поверхностей утраивается по сравнению с обычной для данного района плавания.

Фактического материала по обледенению контейнерных судов накоплено мало. Поэтому в ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова была разработана методика нормирования обледенения, основанная на имеющемся опыте эксплуатации в условиях обледенения промысловых судов. Предлагается при определении расчетной площади проекции надводного борта исходить из значения осадки, соответствующей минимальной загрузке судна. Для различных элементов судна даны следующие расчетные нормы льда.

Проекция на диаметральную плоскость судна фальшборта и козырька верхней палубы и палубы бака —  $50 \text{ кг/м}^2$ .

Расчетная поверхность надстроек (кроме бака), рубок, фальшборта надстроек и рубок —  $10 \text{ кг/м}^2$ . Расчетная площадь определяется суммированием площадей горизонтальных проекций открытых участков палуб, надстроек и рубок независимо от наличия навесов, площадей проекций на плоскость мидельшпангоута каждой из фронтальных стенок надстроек и рубок и их фальшбортов, площадей проекций с одного борта на диаметральную плоскость судна фальшбортов и стенок каждой из надстроек и рубок.

Расчетная площадь шлюпок, определяемая суммированием площадей горизонтальных проекций на диаметрально плоскость судна каждой шлюпки, —  $10 \text{ кг/м}^2$ .

Габаритные поверхности леерных ограждений на рангоуте диаметром меньше  $0,15 \text{ м}$  и такелаже  $3 \text{ кг/пог. м}$  —  $10 \text{ кг/м}^2$ .

Проекция на диаметрально плоскость судна грузовых колонн, мачт, грузовых стрел и другого рангоута диаметром более  $0,15 \text{ м}$  —  $20 \text{ кг/м}^2$ . Массу льда и его статический момент относительно основной плоскости определяют суммированием составляющих по основным группам судовых конструкций и умножением полученной суммы на коэффициент  $\kappa$ , учитывающий влияние высоты надводного борта и размеров судна на интенсивность его обледенения. Методика расчета коэффициента  $\kappa$  дана в § 3. В случае, если  $\kappa$  в расчете получается меньше  $0,5$ , его величина принимается равной  $0,5$ .

Расчетную норму льда на габаритных поверхностях контейнеров (фронтальной, горизонтальной и профильной) рекомендуется принимать удвоенной по сравнению с расчетной нормой для надстроек и рубок.

Для сокращения расчетов можно оценивать обледенение контейнеров по всем площадям их габаритных поверхностей исходя из норм, установленных для палубы. Можно принять удвоенную нагрузку по сравнению с принятой Правилами Регистра СССР на горизонтальной проекции габаритной поверхности контейнеров и площади парусности, а на остальных поверхностях — в соответствии с действующими правилами.

У контейнеров подвергаются обледенению в основном боковые поверхности. На крышах контейнеров льда откладывается меньше, чем с боков. Поэтому расчетную норму льда специально для контейнеров увеличивать не надо.

Указанная методика учета обледенения контейнеровозов несовершенна и нуждается в уточнении.

### **§ 13. БОРЬБА С ОБЛЕДЕНЕНИЕМ НА СУДАХ**

Судно, которое во время плавания может подвергнуться обледенению, должно быть заранее подготовлено к борьбе с ним.

До настоящего времени наиболее распространенным способом удаления льда с судовых поверхностей является ручная сколка. Для рыбопромысловых судов разработан «Табель снабжения ручным инвентарем для борьбы с обледенением». Табелем предусмотрен следующий инвентарь: ломы, топоры с длинными черенками, деревянные кувалды, скребки и совковые

лопаты, а также резиноканевый рукав длиной 25 м и диаметром 32 мм. Для обеспечения безопасности людей, работающих на палубе, в перечень инвентаря для борьбы с обледенением включен предохранительный трос длиной 30 м и спасательные пояса с карабинами.

Число предметов каждого наименования инвентаря зависит от группы судна. Спасательными поясами должно быть обеспечено не менее 50% членов экипажа на судах II, III, IV и V групп и РТ. На судах I группы (кроме РТ) должно быть не менее 4 комплектов поясов [63].

Опыт показывает, что судовые команды не всегда выполняют элементарные требования по подготовке судна к плаванию в штормовых условиях при обледенении. Напомним еще раз некоторые обязательные условия безопасности судна.

Готовясь к плаванию в условиях возможного обледенения, очень важно правильно загрузить судно. В данном случае под правильной загрузкой прежде всего понимается следующее.

1. В любой момент рейса грузовая марка, соответствующая району и сезону плавания, не должна оказываться утопленной. Перегрузка судна опасна всегда, а при обледенении совершенно недопустима.

2. Остойчивость судна должна соответствовать требованиям Информации об остойчивости с максимально возможным запасом.

3. Судно должно иметь правильную посадку, т. е. без крена и с дифферентом, обеспечивающим хорошую всхожесть на волну. Оптимальная дифферентовка у каждого судна своя, но следует предусмотреть возможность образования больших масс льда в носовой части и связанное с этим увеличение осадки носом.

4. Грузы должны располагаться и крепиться так, чтобы избежать возможности их смещения при крене.

5. Палубный груз не должен закрывать штормовых портиков и мешать стоку воды за борт.

6. На промысловых судах, особенно малого и среднего тоннажа, не следует загружать верхнюю палубу тарой, оборудованием и снабжением.

7. В топливных и водяных танках (кроме расходных) должны отсутствовать свободные поверхности жидких грузов.

Капитан перед выходом в море должен ознакомиться с гидрометеорологическими условиями в районе плавания, получить прогнозы погоды, наметить возможные варианты ухода судна под прикрытие берега, льдов или в зону теплых течений в слу-

чае возникновения тяжелого обледенения. На судне необходимо регулярно принимать прогнозы и вести штурманские гидрометеорологические наблюдения, чтобы не оказаться застигнутыми обледенением врасплох.

Члены экипажа должны быть проинструктированы о действиях по борьбе с обледенением, должно быть составлено авральное расписание на сколку льда.

При возникновении угрозы обледенения нужно своевременно подготовить судно: опустить стрелы и краны; верхнюю палубу по возможности освободить, убрав все, что можно во внутренние помещения; закрыть палубные механизмы, вьюшки и бухты тросов брезентовыми чехлами; подготовить освещение палубы на случай авральных ночных работ по сколке льда; натянуть на палубе штормовые леера.

На рыболовных судах следует прекратить промысел, убрать и закрепить промысловое вооружение.

В штормовую погоду при обледенении необходимо, не дожидаясь образования больших масс льда, изменить курс судна относительно волны так, чтобы уменьшить заливание и забрызгивание. Необходимые для этого маневры надо выполнять, пока обледенение не достигло больших размеров.

В случае тяжелого обледенения, если есть возможность, надо своевременно направить судно в убежище, под укрытие берега, вывести его к кромке ледового поля или в район теплых течений. Необходимо поддерживать постоянную радиосвязь с берегом, начальником экспедиции и другими судами, находящимися поблизости. Малым судам следует держаться ближе к судам большего водоизмещения, так как последние меньше страдают от обледенения и могут оказать помощь. Удаление льда, образующегося на судне, необходимо начинать своевременно, не допуская его накопления и примораживания. При этом используют все возможные средства [20].

В эксплуатационных условиях защита судна от обледенения может осуществляться также с помощью ряда мер, направленных на предотвращение отложения льда.

Одним из способов предотвращения обледенения или уменьшения его интенсивности является правильный выбор курса судна по отношению к волнам, а также скорости движения.

Наиболее распространенным способом штормования является положение судна носом на волну. В таком положении наблюдается сильная заливаемость и забрызгивание носовой части судна. Кроме того, уменьшение скорости судна вследствие сильных динамических ударов волн ухудшает управляемость

и создает опасность разворота судна лагом к волнам, что в условиях сильного обледенения особенно опасно.

Модельные эксперименты и наблюдения на судах показывают, что при штормовании носом на волну происходит особо интенсивное образование льда, ЦТ которого расположен сравнительно высоко.

Еще худшее положение создается при КУ к волнам порядка  $30^\circ$ . В этом случае также происходит усиленное заливание и забрызгивание, но опасность усугубляется возникающей несимметричностью обледенения. Отложение льда на наветренном борту быстро создает крен, способствующий образованию льда на верхних частях рангоута и такелажа. В результате опрокидывание происходит при массе льда в два раза меньшей, чем в положении носом на волну.

Обледенение наименьшей интенсивности наблюдается, когда судно находится кормой к ветру и волнению, так как в таком положении оно подвергается наименьшему забрызгиванию. Кроме того, ЦТ образующегося на судне льда в этом случае располагается значительно ниже, чем при штормовании носом на ветер. В результате снижение метацентрической высоты при одной и той же массе льда наполовину меньше, чем при положении судна носом против ветра и волнения.

Однако при всех своих преимуществах штормование на попутном волнении в условиях обледенения имеет и весьма опасный недостаток: если длина волн близка к длине судна, а скорость их бега приблизительно равна его скорости, происходит существенное снижение запаса остойчивости. В такой ситуации необходимо изменением скорости нарушить неблагоприятное равенство скоростей судна и волн [26].

Очень хорошие результаты дает укрытие от ветра и волнения под берегом или во льдах. Уменьшение высоты волн в этом случае значительно снижает забрызгиваемость и интенсивность обледенения.

При наличии надежной гидрометеорологической информации эффективен уход из района интенсивного обледенения. Например, в открытой части Черного моря температура воды на  $2-3^\circ\text{C}$  выше, чем в прибрежных и мелководных районах. Следовательно, уход в более глубоководный район позволит существенно снизить интенсивность обледенения судна [17].

ЦТ судна понижается при скалывании льда с любого участка судовых конструкций [36]. Однако влияние сколки на уменьшение статического момента относительно основной пло-

скости существенно зависит от общей массы льда на судне и участка производства работ (рис. 32).

Из рисунка следует, что наибольший эффект при сильном обледенении дает скалывание льда с такелажа и рангоута 1, а также с вант, оттяжек и штагов на палубе 2. По мере роста общей массы льда снижается эффективность сколки льда

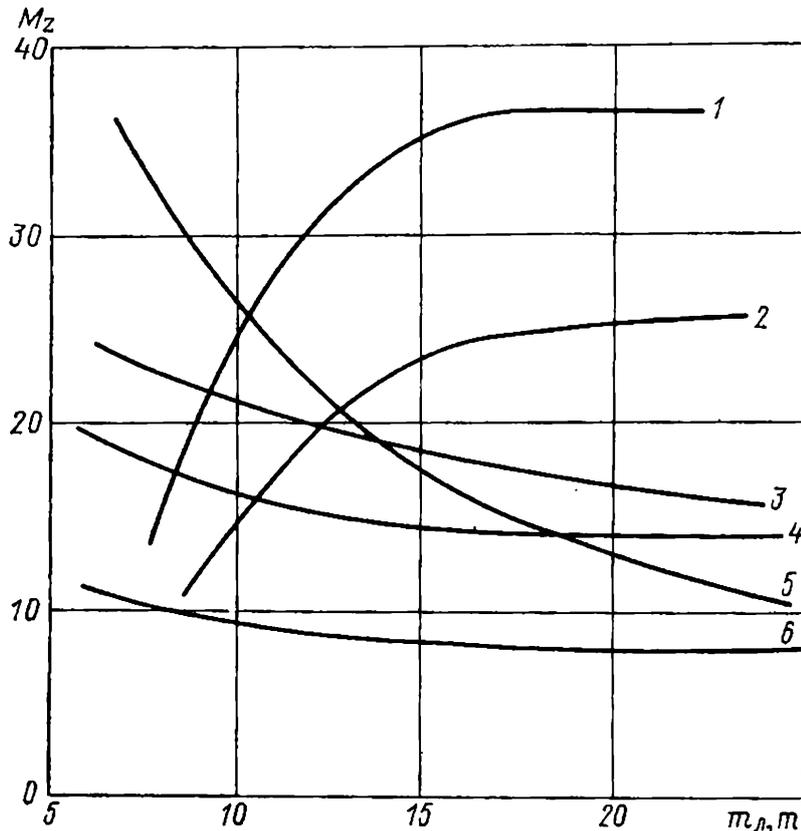


Рис. 32. Влияние сколки льда на понижение ЦТ судна в зависимости от общей массы льда

с фальшборта 3 и палубы 5. Что касается сколки льда с палубных устройств, механизмов 4 и надстройки 6, то она дает наименьший эффект практически при обледенении любой интенсивности.

При несимметричном обледенении периодически меняют курс судна так, чтобы сколку можно было вести с подветренного борта, если это возможно.

Появившийся в результате асимметрии массы льда крен на наветренный борт может быть не сразу обнаружен, так как с этого борта в какой-то мере спрямляет судно ветер. Асимметрия массы льда может опасно проявиться при изменении курса судна или направления ветра, поэтому при сколке льда надо стремиться как можно быстрее ее устранить [78].

Перед началом сколки вдоль рабочих мест натягивают леера для того, чтобы люди могли держаться за них или крепиться с помощью поясов с карабинами. При сколке необходимо

следить, чтобы шпигаты и штормовые портики не забивались льдом и всегда оставались открытыми для стока попадающей на палубу забортной воды. Эффективность ручной сколки льда может быть повышена путем применения специальных пневматических молотков типа 18Л.

Многие суда имеют конструктивные особенности, которые надо учитывать, готовясь к плаванию в условиях обледенения. Например, носовой кранец на некоторых промысловых судах крепится около среза полубака и при движении судна на малых КУ к волне вызывает интенсивное брызгообразование. Поэтому при возникновении опасности обледенения его следует завалить на борт [23].

Хорошим дополнением к ручной сколке льда являются термические способы борьбы с ним. Даже незначительное нагревание корпуса судна существенно сказывается на интенсивности отложения льда. Как показывает опыт, на наливных судах при включенном подогреве танков обледенение палубы и бортов не достигает большой величины [21]. Обмерзанию подвергаются только релинги и ванты, причем масса льда не превышает 50 т на танкере грузоподъемностью около 4 тыс. т.

Эффективным методом является использование пара или нагретой паром до температуры не ниже  $+24^{\circ}\text{C}$  забортной воды. Для борьбы со льдом забортная вода из пожарных магистралей должна подаваться под давлением порядка 7—14 кгс/см<sup>2</sup>. Используется также перегретый пар под давлением 3,5—10,5 кгс/см<sup>2</sup>.

Способ борьбы с обледенением с помощью горячей воды успешно применялся еще зимой 1929 г. на ледорезе «Федор Литке» в рейсе из Владивостока в бухту Провидения. Для борьбы со льдом использовался также пар, для чего вдоль фальшборта проложили паропровод [9].

Если забортная вода имеет температуру выше  $+3^{\circ}\text{C}$ , ее также можно использовать для борьбы со льдом, поливая сильными струями обледеневающие поверхности. При этом обязательно должен быть обеспечен беспрепятственный сток воды за борт [17].

В Японии разработан метод борьбы с обледенением, заключающийся в использовании теплой воды после охлаждения ею главного двигателя. Вода температурой  $+20^{\circ}\text{C}$  подается под давлением в распыляющее устройство в виде решетчатого желоба и постоянно орошает судовые поверхности. Испытания, проведенные в Охотском море и в районе Курильских островов, дали положительные результаты: полностью исключается об-

леденение при интенсивности ледообразования до 15 см/ч. Изобретение рекомендовано для судов водоизмещением около 300 т.

В США для борьбы с обледенением на кораблях военно-морского флота используется отработанный газ переносных малогабаритных газовых турбин. Образующийся при их работе горячий газ температурой более 400 °С отводится гибким жаростойким шлангом диаметром 10 см к местам ледообразования. Такой способ позволяет плавить лед толщиной до 66 мм. Разрушенный лед затем дробится вручную и смывается за борт водой из пожарного шланга.

Используется отработанный газ турбины типа «Боинг 502-6» или газовой турбины пожарного насоса «Солар Т-45». Тепловая энергия отработанного газа турбины «Боинг 502-6» составляет 882 ккал/ч, а «Солар Т-45» — 378 ккал/ч.

Турбина «Боинг 502-6» имеет длину 1,5 м, ширину — 0,6 м и высоту — 0,75 м; ее масса составляет 202,5 кг. Это автономная передвижная установка со стартером, аккумуляторной батареей и топливной цистерной.

Турбина «Солар Т-45» имеет пусковое устройство с ручным управлением. Она также автономная и передвижная. Ее длина — 0,69 м, ширина — 0,61 м, высота — 0,63 м и масса — 76,5 кг.

Ультразвуковые методы борьбы со льдом получили малое распространение, так как требуют больших энергетических затрат [50].

Важным условием организации успешной борьбы с обледенением является систематический контроль остойчивости судна. Нужно постоянно следить за периодом бортовой качки. Это позволяет правильно ориентироваться в состоянии остойчивости, принимать своевременные меры по обеспечению безопасности плавания, оценивать степень эффективности принимаемых мер по увеличению остойчивости. При увеличении периода бортовой качки на 20—30% следует принимать все возможные меры к улучшению остойчивости.

Учитывая сложность и малую точность расчета в морских условиях статических моментов от образующегося на судовых поверхностях льда, проще всего контролировать метацентрическую высоту по периоду бортовой качки, используя формулу

$$h_0 = \left( \frac{cB}{T_\theta} \right)^2. \quad (14)$$

Проведенные исследования показали, что коэффициент  $c$  в уравнении (14) остается достаточно стабильным в широком

диапазоне реально возможных изменений массы судна в процессе обледенения. Однако этот вопрос требует дополнительного изучения [50].

График для определения метацентрической высоты по периоду качки промысловых судов некоторых типов приведен на рис. 33 [28].

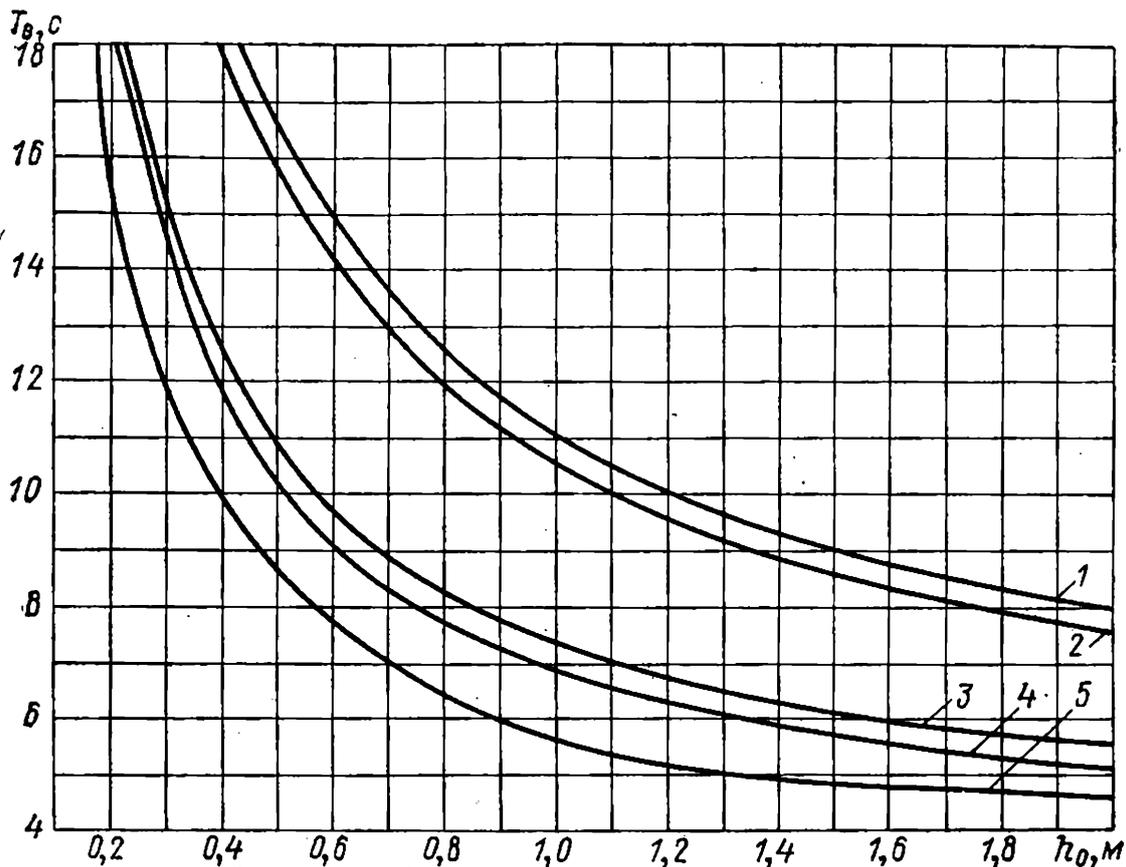


Рис. 33. График для определения метацентрической высоты по периоду бортовой качки судна.

1—БМРТ «Маяковский»; 2—РТМ «Тропик»; 3—СРТМ «Маяк»; 4—СРТР «Океан»; 5—СРТ-400

При возникновении статического крена нельзя пытаться устранить его перекачкой воды или топлива из танков одного борта в танки другого борта, так как это приводит к увеличению свободных поверхностей жидких грузов и еще больше уменьшает запас остойчивости.

#### § 14. АНТИОБЛЕДЕНИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА

Идеальным средством борьбы с обледенением могло бы явиться долговечное покрытие судовых конструкций, предотвращающее образование льда. Сила сцепления льда с поверхностями зави-

сит от многих факторов: вида связей между молекулами льда и поверхностью, гибкости поверхности относительно льда, солености и чистоты воды, температуры поверхности и воды, длительности процесса и ряда других обстоятельств.

Едва ли удастся найти материал, полностью исключаяющий возможность обледенения судовых конструкций, но покрытия, обладающие во много раз меньшей адгезией со льдом, чем незащищенные поверхности, уже найдены.

Адгезия льда (кгс/см<sup>2</sup>) с различными материалами, при прочих равных условиях, колеблется в весьма широких пределах, как это видно из приведенных ниже данных [53, 76]:

Медь . . . . .	8,6
Малоуглеродистая сталь . . . . .	8,4
Нержавеющая сталь . . . . .	8,1
Оцинкованная сталь . . . . .	7,7
Целлофан . . . . .	6,8
Цинк . . . . .	6,3
Алюминий . . . . .	6,2
Силикатное стекло . . . . .	4,3
Дерево (в зависимости от сорта) . . . . .	3,1—5,5
Эпоксидная смола . . . . .	3,0
Резина . . . . .	1,4—3,5
Плексиглас . . . . .	2,8
Полистирол . . . . .	2,0—2,5
Поливинилхлорид . . . . .	2,2
Полистиролкумаровый лак . . . . .	2,0
Полиэтилен . . . . .	1,9
Ацетилцеллюлоза . . . . .	1,8
Полиэтилен среднего давления . . . . .	0,7
Полиалкилгидросилоксан . . . . .	0,14
Тефлон . . . . .	0,12

Величина адгезии с судовой краской колеблется в пределах от 5,2 до 7,7 кгс/см<sup>2</sup>. Как видно из приведенных выше цифр, адгезия льда со специальными ледоотталкивающими покрытиями доходит до 0,12 кгс/см<sup>2</sup>, т. е. оказывается иногда в несколько десятков раз меньше. Однако такие покрытия нестойки и теряют свои свойства уже после одной — трех сколок льда, что затрудняет их внедрение.

Адгезию льда с судовыми красками уменьшают с 5,6 до 1,4—2,8 кгс/см<sup>2</sup> некоторые неорганические присадки. Эффект от присадок непродолжителен.

Основная задача при разработке антиобледенительных покрытий — добиться стабилизации их свойств. Специалисты США считают, что хороший антиобледенительный материал должен иметь величину адгезии не выше 1 кгс/см<sup>2</sup> при 25-кратном

скалывании льда с погружением в воду в промежутках между скалываниями и при 50-кратном скалывании без погружения в воду.

Совершенно очевидно, что сколка льда с поверхности, обладающей малой адгезией, будет более эффективной. Поэтому разработаны и продолжают разрабатываться многочисленные антиобледенительные покрытия, наносимые на защищаемую поверхность методом распыления.

Сущность физико-химических способов борьбы с обледенением заключается в создании промежуточного слоя специального вещества между льдом и защищаемой поверхностью. Вещество должно либо уменьшать адгезию льда, либо понижать температуру замерзания морской воды на судовой поверхности. Желательно, чтобы покрытие сочетало в себе оба эти качества.

Есть вещества, при взаимодействии с которыми лед тает. Таяние возможно при различных температурах, в зависимости от применяемого вещества. Так, при температуре  $-5^{\circ}\text{C}$  1 г калия углекислого кислого растопит  $59\text{ см}^3$  льда, а 1 г натрия фтористого — около  $33\text{ см}^3$ . С понижением температуры растапливаемый объем льда уменьшается. При температуре  $-25^{\circ}\text{C}$  1 г хлористого алюминия растапливает около  $5\text{ см}^3$  льда, едкого натрия —  $4,9\text{ см}^3$ , хлористого магния —  $4,6\text{ см}^3$ , калия едкого —  $4,3\text{ см}^3$  и т. д. [2].

Наиболее эффективны вещества, относящиеся к классу солей. Они дешевы, достаточно устойчивы на воздухе и не требуют особых мер предосторожности при обращении.

Сведения об успешном испытании химических веществ для борьбы со льдом в лабораторных условиях есть, а о применении их на судах — очень ограничены. Так, на авианосцах США для очистки летной палубы применяют, кроме прочих способов, каменную соль, а с целью уменьшения коррозии — ингибиторы. Каменную соль иногда заменяют смесью хлористого лития. Эта смесь эффективна при образовании льда из снега или дождевой воды, но малоэффективна при образовании льда из брызг морской воды, так как в этом случае она смывается. Кроме того, смесь хлористого лития может применяться при толщине льда лишь немногим более 1 см.

Для защиты от обледенения небольших площадей применяют профилактические противообледенительные смеси, замедляющие обледенение или облегчающие удаление льда. Эти смеси классифицируются так.

*Разделяющие смеси.* Обладают высокой степенью прилипания ко льду и малой силой сцепления с судовыми поверхностями.

*Смеси, понижающие температуру замерзания.* Состоят из одного или нескольких растворимых в воде веществ, таких, как спирт, этилен, гликоль, глицерин, натрий, литий, кальций, хлористый или азотистокислый магний. Если лед все-таки образовался, смеси выполняют отделяющую роль.

Некоторые из смесей вследствие низкого коэффициента трения непригодны для покрытия трапов, палуб и т. п. участков судна, по которым ходят люди. К их числу относятся смеси, содержащие кремнийорганические соединения. С этой точки зрения более удобны покрытия с верхним слоем из перфорированного полимера. Большинство антиобледенительных смесей огнеопасно и требует осторожного обращения. Действие всех перечисленных выше смесей кратковременно.

Водонепроницаемые канаты рекомендуется обрабатывать твердым вазелином (петролатумом).

Трущиеся части блоков покрывают жиром, а все наружные части — петролатумом.

Обработку химикалиями необходимо периодически повторять. Временный интервал между покрытиями зависит от погоды.

В иностранной печати были сообщения о разработке специального антиобледенительного покрытия для судовых поверхностей X-Z-8-3057, уменьшающего на 70% работу по скалыванию льда и препятствующего обледенению своими водоотталкивающими свойствами. Однако и у этого материала короткий срок службы: всего около двух недель вследствие чувствительности к солнечной радиации и слабому сцеплению с покрываемой поверхностью.

Хорошие антиобледенительные свойства имеет тефлон FEP. Он выпускается в виде тонкой пленки, которая может наматываться вокруг рангоута, такелажа, антенн и т. п. Лед легко удаляют с тефлона, причем на гибких элементах типа антенн удаление льда происходит без участия человека, под действием ветра и вибрации.

Кремнийорганозэпоксидное покрытие ЭП-5162 имеет две составляющие:

— антикоррозийный подсло́й из пигментированного лака на основе эпоксидной смолы ЭД-5 с отвердителем;

— ориентированный слой кремнийорганического полимера, химически связанного с антикоррозийным подслоем, состоящим из кремнийорганической жидкости ГКЖ-94 с отвердителем.

Такое покрытие марки «Г» имеет адгезию 0,1 кгс/см<sup>2</sup>. Эффективность покрытия зависит от состояния защищаемой

поверхности и гидрометеорологических условий обледенения. Были случаи успешной эксплуатации покрытия в течение 6 мес, в других случаях — не более 1 мес [50].

В лабораторных условиях хорошие результаты показали антифризы, созданные в Харьковском НИОХИМе. Это — криофобные препараты на органо-минеральной основе. Они представляют собой твердые вещества с температурой плавления 100—150 °С. Лед плавится по площади сцепления с защищенной ими поверхностью и легко сдвигается и отслаивается [68].

Для защиты такелажа эффективны также фторопластовые чехлы. Лед легко перемещается вдоль чехла и разрушается от удара [54].

Отечественная промышленность выпускает гидрофобные кремнийорганические полимеры в виде жидкостей, смол, лаков и пр. Адгезия льда с этими покрытиями в два раза меньше, чем со штатным покрытием, и в 3—4 раза меньше, чем с чистым металлом.

Хорошим антиобледенительным покрытием является полиэтилен.

Заслуживает внимания замена металлических конструкций пластмассовыми и стеклопластиковыми. Полезны при обледенении парафиловые тросы, на гладкой поверхности которых лед образуется медленно. Парафиловый трос состоит из параллельных волокон высокой прочности, спрессованных и заключенных в гибкую алкатеновую оболочку. Их изготавливают из нейлона, терилена, полипропилена или из их соединений.

Испытания в лабораторных условиях показали, что с парафилового троса лед легко удаляется. Слой льда толщиной около 17—18 см отпадает с троса, если по стальной раме, к которой он прикрепляется на испытательном стенде, постучать молотком. Лед, образовавшийся в тех же условиях на стальных тросах, удаляется с трудом. Предполагалось, что в морских условиях для удаления льда с парафиловых тросов достаточно будет вибрации судна от работающих двигателей и ударов волн.

Парафиловые тросы показали на практике свое преимущество перед стальными, но не в той степени, в какой ожидали по испытаниям в лабораторных условиях. Возможно, что причина этого заключается в том, что на судне тросы были недостаточно натянуты.

Тросы из парафила больше в диаметре, чем стальные с той же прочностью на разрыв, но их масса вдвое меньше. Тонкие парафиловые тросы дешевле стальных, а толстые — дороже. Недостатком парафиловых тросов является то, что их нельзя

сращивать обычным способом. Для сращивания приходится применять специальные зажимы. Тросы из парафила обладают большим сопротивлением вытягиванию и хорошими электроизоляционными свойствами. Они не портятся от действия воды и соляных растворов. Промышленность выпускает парафиловые тросы нескольких разновидностей, различающиеся по свойствам. Например, такие тросы некоторых марок быстро перетираются об острые грани, и поэтому не рекомендуются для работы на лебедках. Температура от  $-32$  до  $+52^{\circ}\text{C}$  на парафиловые тросы действия не оказывает.

Перспективно использование пластмасс из губчатого материала — полиэтиленового пенопласта. С него лед слетает при вибрации судна.

Однако указанные выше покрытия и материалы не могут полностью и на всех судовых конструкциях предотвратить обледенение.

Особую группу представляют собой токопроводящие покрытия. Их антиобледенительное действие основано на тепловом эффекте. Как показывают теоретические расчеты и эксперименты, для предотвращения обледенения и облегчения удаления льда достаточно поддерживать температуру поверхности в пределах от  $0$  до  $+0,2^{\circ}\text{C}$ .

Тепловые методы борьбы с обледенением можно подразделить на два основных вида. Первый предназначается для уменьшения адгезии (подтаивание нижнего тонкого слоя льда); второй рассчитан на полную ликвидацию льда (метод постоянного подогрева).

Применение первого вида предполагает удаление льда каким-либо вспомогательным средством. В этом случае подогреватель должен обладать мощностью в  $1-2$  кВт/м<sup>2</sup>. Во втором случае мощность подогревателя должна быть не менее  $1200$  Вт/м<sup>2</sup> [5].

Ввиду сравнительно большой мощности, потребляемой электроантиобледенителями, возможность их использования на судах ограничена. Например, для защиты  $0,1$  м<sup>2</sup> поверхности требуется в среднем затратить  $150$  Вт электроэнергии. Защита траулера требует более  $300$  кВт, что, конечно, невозможно обеспечить. Для уничтожения образовавшегося льда толщиной  $12-13$  мм с помощью электроантиобледенителя требуется  $8-20$  мин. Чтобы не допустить большого нарастания льда, можно электроантиобледенительную систему разделить на секции, включаемые попеременно. В этом случае потребная мощность уменьшится до  $20-40$  кВт.

Электроантиобледенители выполняют в виде проволочных нагревателей или токопроводящих покрытий.

Первые не обеспечивают равномерного нагрева поверхности, подвержены механическим повреждениям. Значительно удобнее токопроводящие покрытия, которые потребляют меньше энергии.

В Норвегии и Англии неоднократно испытывалась система «Спреймат», но дальше опытов дело не пошло. Серьезные испытания оказались слишком дорогими для частных судовладельцев, и система вскоре оказалась забытой. Появилась на морских судах впервые она в 1955 г. и представляла собой модификацию английской авиационной антиобледенительной системы. Сущность ее заключается в следующем. Защищаемую поверхность покрывают слоем из пластмассы, наносимым методом распыления. Поверх нее таким же способом наносят полосы из алюминиевого сплава шириной 7,5 см, затем — слой пигментной антикоррозийной пластмассы также методом распыления. Концы полос из алюминиевого сплава выводят наружу и подсоединяют к источнику электрического тока, создавая таким образом электронагревательный элемент. Общая масса такого антиобледенителя для траулера составляет около 450 кг [85].

На промышленной выставке в Ганновере (ФРГ) в 1958 г. английская фирма «Нэпир и сын» рекламировала свою электроантиобледенительную систему, по сути копирующую систему «Спреймат». Общая толщина обогревательных элементов системы фирмы «Нэпир и сын» составляет 1,5—1,7 мм, масса находится в пределах 1,46—1,70 кг/м<sup>2</sup>. Изоляция рассчитана на температуру до +100 °С. Каждый квадратный сантиметр обогревателей потребляет до 6,2 Вт мощности электроэнергии. Для регулирования количества тепловой энергии, вырабатываемой обогревательными элементами, может применяться термостат.

Электроантиобледенители не нашли широкого применения на судах вследствие своей сложности, высокой стоимости изготовления и эксплуатации. Более доступны электрообогреваемые чехлы для закрытия палубных механизмов, спасательных средств и т. п.

Существуют пневматические противообледенительные устройства, успешно прошедшие испытания в морских условиях. Так, на английском траулере «Бостон Фантом» (валовая вместимость — 431 рег. т, длина — около 43 м) в районе Исландии в 1969 г. испытывалось противообледенительное устройство

пневматического типа, приводимое в действие сжатым воздухом. Оно представляло собой чехлы из неопренового каучука, которые закреплялись на мачтах, вантах, штагах и лобовых стенках рубок и надстроек. Внутри чехлов находились небольшого диаметра резиновые трубки, соединенные с центральным источником воздуха, подающегося под давлением  $1,05 \text{ кгс/см}^2$ . После поступления воздуха в трубки чехол надувался и лед, образовавшийся на его поверхности, отпадал. Управление всей системой было дистанционным, с мостика. Недостатком является то, что не все судовые поверхности могут быть защищены подобной системой. Например, такое оборудование сложно установить на траловой лебедке.

Предварительные испытания в лабораторных условиях показали, что слой пресноводного льда толщиной около 23 см разрушается и удаляется с макета мачты и лобовой стенки рубки при температуре  $-15^\circ\text{C}$ .

На траулере «Бостон Фантом» противообледенительными чехлами снабдили ванты, мачты и лобовую стенку рубки. Устройство показало свою надежность при разрушении слоя льда толщиной до 15 см. Элементы устройства съемные, поэтому их можно на теплое время года убирать и хранить на берегу. Для монтажа устройства на вантах траулера одному человеку нужно меньше часа [84].

Траулер «Бостон Фантом» выдержал 9-балльный шторм с обледенением при температуре воздуха до  $-20^\circ\text{C}$ . Обледенение носило угрожающий характер, и без антиобледенительного устройства судно, вероятно, потерпело бы аварию.

Пневматическое устройство на фок-мачте и лобовой части мостика разрушило лед без труда. Позднее устройство еще раз приводили в действие, и оно выполнило свое назначение вполне удовлетворительно.

Испытатели сделали заключение о целесообразности изменения некоторых судовых конструкций для облегчения применения пневматических антиобледенительных устройств.

В Норвегии предложена комбинированная система, состоящая из трех отдельных устройств, применяемых в зависимости от характера защищаемых частей судна. Она заключается в следующем.

Мачты, стрелы, реи и другой пустотелый рангоут снабжают трубчатыми нагревательными элементами, содержащими инфракрасные источники нагрева. Сплошной рангоут (кованый и катаный), такелаж и антенны защищают внешними обогревательными элементами.

Поручни, леера, стойки, шлюпбалки, часть такелажа и палубные механизмы покрывают особым полимером под названием фортифлекс, имеющим малую адгезию. Мостик и надстройку защищают системой «Спреймат».

Антиобледенительными устройствами прежде всего нужно снабжать вертикальные поверхности. Для избежания накопления льда на полубаке и возникновения дифферента на нос антиобледенительные покрытия целесообразно наносить на поверхности, не защищенные электрообогреваемыми чехлами: полубак, борт и фальшборт до 50-го шпангоута, боковую переборку надстройки, траловые дуги (особенно носовую).

Особый интерес представляют системы для борьбы со льдом, образующимся на судовых спасательных устройствах.

В Англии проводились опыты по удалению льда с поверхности стеклопластикового контейнера, предназначенного для хранения спасательных плотов на рыболовных судах.

Контейнер подвергли искусственному обледенению путем обливания водой при температуре от  $-20$  до  $-40$  °С. Таким путем на поверхности контейнера создавался слой льда толщиной до 30 мм. При надувании плотов лед легко разрушался и отделялся от стеклопластиковой поверхности контейнера. Плоты приходили в готовое для посадки людей состояние через 45 с после начала их наполнения. Два человека металлическим стержнем скалывали лед и в течение нескольких секунд отделяли обледеневший контейнер от стеллажа и приготавливали его к спуску. В процессе экспериментов установлено, что чем толще лед, тем он легче отделяется от стеклопластиковой поверхности.

В последние годы запатентовано довольно много устройств для борьбы с обледенением.

Так, во Франции создан «сигнализатор обледенения», представляющий собой датчик, реагирующий на изменение напора ветра на обледеневшую поверхность. Сигнализатор можно использовать не только на судах, но и на самолетах, а также для предупреждения об отложении льда на дорогах.

Во Франции также запатентовано покрытие для защиты от обледенения судовой поверхности. Это — слой пластмассы на основе полиуретана толщиной от 0,25 до 1,25 мм.

В Японии запатентовано несколько защитных смесей из химических веществ, препятствующих обледенению судна. Защищаемые поверхности покрывают этими смесями.

Кроме перечисленных предлагаются и другие защитные средства. Например, в Японии создано устройство, состоящее из многослойных эластичных стенок, покрываемых масляной

пленкой. Периодически подаваемый между ними сжатый воздух заставляет стенки ритмично изгибаться, что способствует разрушению образовавшейся корки льда.

В ФРГ предложено оборудование для нанесения защитной жидкости снаружи на защищаемую поверхность с помощью устройства, обеспечивающего равномерное стекание антиобледенительной жидкости по защищаемой поверхности.

Наличие на судне противообледенительной защиты может служить основанием для уменьшения расчетных масс льда. Например, по Правилам Регистра СССР [57] в случае применения противообледенительных покрытий, обладающих адгезией не более  $0,5 \text{ кгс/см}^2$ , расчетная масса льда, образовавшегося на поверхности, снижается на 20%.

При применении комплекта электрообогреваемых чехлов для люков, вьюшек и палубных механизмов расчетное количество льда, осевшего на верхней палубе и палубе бака, уменьшается на 20%.

При использовании других средств для уменьшения обледенения судна допустимое снижение расчетной массы льда должно быть согласовано с Регистром СССР.

## **§ 15. КОНСТРУКТИВНЫЕ МЕРЫ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА УМЕНЬШЕНИЕ ОБЛЕДЕНЕНИЯ**

В зависимости от конструктивных особенностей каждое судно имеет определенные участки наиболее интенсивной аккумуляции льда. Поэтому одна и та же масса льда может по-разному влиять на мореходные качества судов различных типов.

Количество воды, попадающей на палубу и надстройки судна, существенно зависит от формы его корпуса. Известно, что большая седловатость палубы уменьшает заливаемость и забрызгиваемость судна на волнении. Особенно существенно заливаемость и забрызгиваемость зависят от высоты надводного борта между 0—4 теоретическими шпангоутами.

Для уменьшения забрызгиваемости и заливаемости следует заострять ватерлинии в подводной части носовой оконечности. В сочетании с хорошим развалом шпангоутов в надводной части это приводит к уменьшению заливаемости и забрызгиваемости.

Эффективность увеличения развала шпангоутов в носовой оконечности растет за счет излома шпангоутов у верхней палубы, что приводит к разрушению брызгового потока не у кромки палубы, а ниже, у линии излома шпангоута.

Сам по себе развал носовых шпангоутов уменьшает заливаемость палубы в основном у тихоходных судов. У быстроходных судов развал носовых шпангоутов снижает заливаемость только на попутном волнении, на встречном же волнении практически не влияет на нее.

Забрызгиваемость возрастает с уменьшением периода бортовой качки. Поэтому при проектировании судна, которое будет плавать в условиях обледенения, предпочтительнее создавать необходимый запас остойчивости за счет выбора рациональной формы корпуса и соотношения главных размерений, а не путем чрезмерного увеличения метацентрической высоты.

У танкеров носовые оконечности подвергаются обледенению в большей степени, чем у судов других типов. Для предотвращения сильного забрызгивания и заливания бака рекомендуется для них делать носовые обводы в надводной части более полными и с сильным развалом бортов. Палубные механизмы следует снабжать ледовыми кожухами [21].

Как отмечалось, лед, образующийся на рангоуте и такелаже, существенно влияет на остойчивость, поэтому важно выбрать такую их конструкцию, при которой образование льда было бы наименьшим. Для этой цели был проведен ряд специальных экспериментов [86].

В частности, произведен опыт с моделью, у которой стоячий такелаж обеих мачт был заменен металлическими суппортами, образующими трехногую мачту. Оказалось, что модели судов с трехногими мачтами теряли остойчивость лишь на  $2/3$  по сравнению с моделями с обычными мачтами. Из этого следует, что суда, систематически работающие в районах, где существует опасность обледенения, целесообразно оборудовать двухногими или трехногими мачтами. При этом мачты следует располагать как можно дальше от оконечностей судна.

Влияние конструкции мачты на изменение остойчивости судна при обледенении показано в табл. 26, полученной на основании испытаний модели траулера в масштабе 1:12 при положении носом против волны и ветра.

При проектировании судна, предназначенного для систематического плавания в районах возможного обледенения, следует сокращать до минимума размеры рангоута и такелажа, упрощать их конструкцию, делать минимальным протяженность цилиндрических поверхностей небольшого диаметра.

Для уменьшения заливания и забрызгивания палубы желательно по всей длине судна устраивать фальшборт, а не леерное ограждение. В случае, если леерное ограждение необходимо,

Изменение остойчивости модели при обледенении  
(в пересчете на траулер натуральной величины)

Масса льда, т	Возвышение ЦТ льда, м	Период бортовой качки, с	Потеря метацентрической высоты, м
Обычные мачты			
45	8,50	—	0,14
50	8,99	10,6	0,18
73	9,57	13,3	0,29
122	9,29	16,6	0,41
99	9,17	—	0,34
Трехногие мачты			
44	6,71	9,0	0,08
85	7,95	11,8	0,22
111	7,86	12,1	0,26

лучше делать его не трубчатым, а из стального троса, так как с последнего легче удалять лед.

Некоторые авторы считают, что вертикальные цилиндры подвержены обледенению сильнее, чем горизонтальные. Однако по этому вопросу существуют и другие мнения. Например, канадскими исследователями установлено, что коэффициент обледенения практически не зависит от положения цилиндра в пространстве. Безусловно достоверным является то, что толщина льда, образовавшегося на цилиндре малого диаметра, может во много раз превышать диаметр цилиндра. Отсюда следует вывод, что в судовых конструкциях целесообразнее иметь одну большую деталь, чем несколько маленьких, так как интенсивность обледенения растет с уменьшением диаметра детали [50].

При стремлении конструктивно обеспечить наименьшее отложение льда на верхней палубе возникает ряд противоречивых требований. С одной стороны, очень быстрый слив воды оставляет на палубе тонкий слой льда. Некоторая задержка воды будет способствовать таянию льда. Относительное время задержки воды поддается расчету с учетом температуры заборной воды и теплообмена с окружающей средой [33].

При увеличении заливаемости палубы (например, в результате изменения КУ к волне) может прекратиться ее обледенение, а образовавшаяся на палубе ледяная каша будет смыта за борт. Такая картина наблюдается при достаточно высокой

температуре забортной воды (рис. 34). По этой причине заливаемые части палубы подвергаются обледенению меньше, чем забрызгиваемые [18].

С другой стороны, присутствие в течение продолжительного времени на палубе большой массы воды опасно, так как уменьшает остойчивость судна. Поэтому важно исключить возможность задержки на палубе больших масс воды, обеспечив ее быстрейший сток за борт. Опасность в этом отношении представляют палубные колодцы. На некоторых промысловых судах объем палубных колодцев достигает 10—30% объемного водоизмещения. Очевидно, что заливание водой колодца такого объема представляет серьезную опасность даже при свободных ото льда штормовых портиках.

В этом отношении Нормы Регистра СССР недостаточно строги. Остойчивость колодезных судов должна проверяться для случая заполнения наибольшего из колодцев водой по нижнюю кромку портиков. В условиях обледенения сток воды через штормовые портики очень быстро становится ограниченным или даже совсем прекращается.

Встречаются суда, у которых предусмотрены устройства для запираания штормовых портиков откидными крышками. В этом случае опасность при обледенении значительно возрастает, так как подобные устройства быстро перестают работать из-за появившегося на них льда. Открыть портики становится невозможно. Поэтому на судах, подверженных обледенению, не рекомендуется делать какие-либо закрытия штормовых портиков. Площадь портиков и их протяженность должны быть максимальными.

Для облегчения работ по сколке льда следует стремиться, чтобы на внешних поверхностях корпуса и надстроек было как можно меньше обухов, кронштейнов, уток и т. п. В этих же целях палубные механизмы должны снабжаться штатными кожухами или чехлами.

Якорные ниши должны быть как можно меньших размеров, так как в них происходит интенсивное образование льда.

Отмечено немало случаев, когда судовое спасательное устройство, особенно шлюпки и шлюпбалки, обмерзли до такой степени, что ими нельзя было пользоваться. Шлюпки вместе с намерзшим на них льдом приходилось сбрасывать за борт для облегчения судна. Практика показывает, что особенно опасными аккумуляторами льда являются шлюпки обычного типа. Лучше зарекомендовали себя надувные спасательные плоты. В открытых шлюпках люди в промокшей одежде при сильном ветре

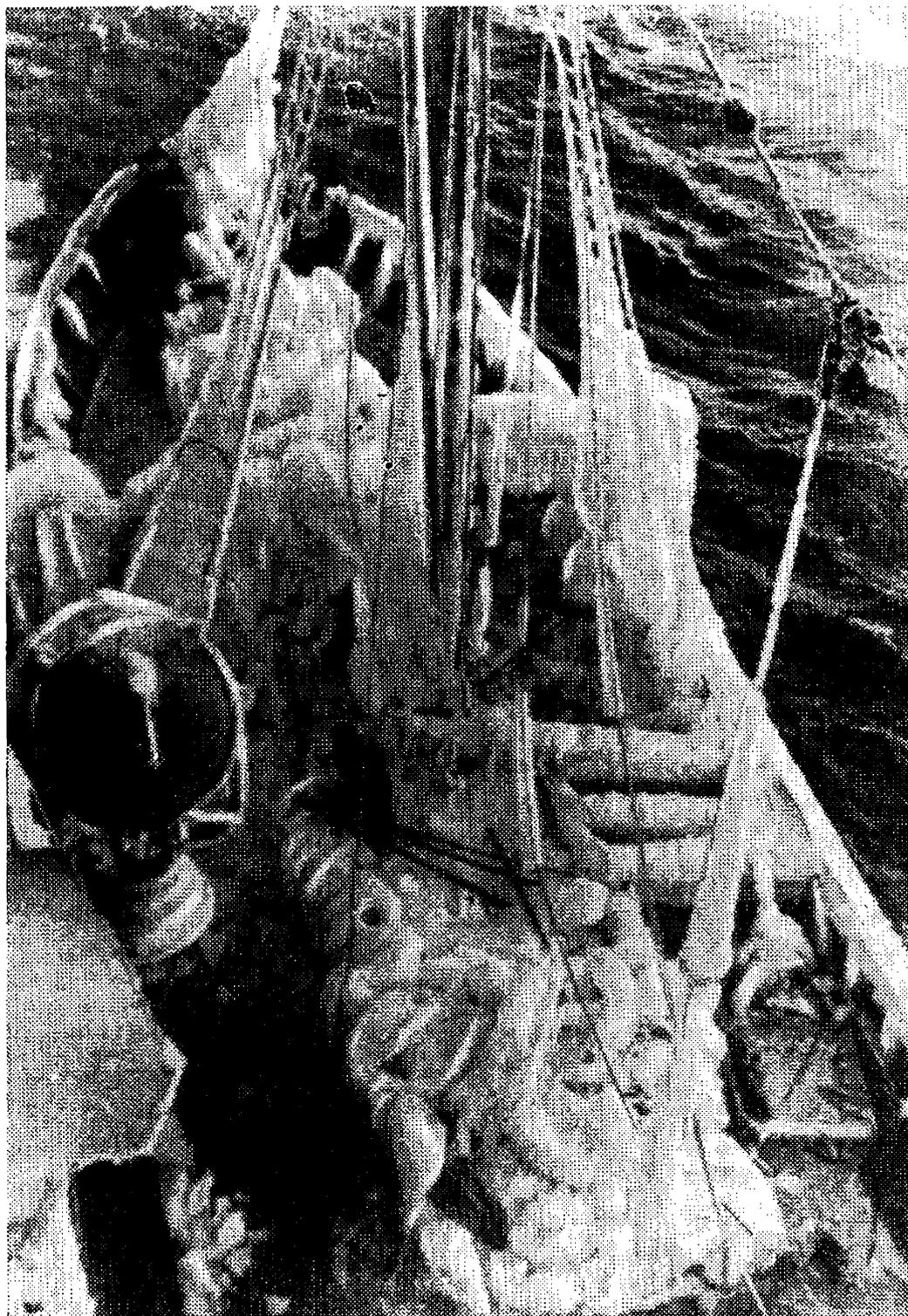


Рис. 34. Обледенение судовых конструкций рыбного промыслового судна при отсутствии льда на палубе

и низкой температуре погибают в течение 1—2 ч. В воде температурой ниже  $+6^{\circ}\text{C}$  смерть от охлаждения может наступить в течение 20—40 мин, иногда даже через 5—10 мин и меньше.

Индивидуальные спасательные средства (жилеты, нагрудники, спасательные круги) не защищают от опасного для жизни переохлаждения.

Надувные спасательные плоты, снабженные тентами, обеспечивают безопасность людей при низкой температуре воздуха продолжительное время (иногда до 2—3 сут). Ниже приведены ориентировочные сроки (ч) выживаемости людей в суровых гидрометеорологических условиях (сильный шторм, низкая температура воздуха и воды) при использовании различных спасательных средств [32]:

Индивидуальные средства . . . . .	0,5
Опрокинутые коллективные спасательные средства	2
Коллективные средства открытого типа . . . . .	24
Коллективные средства закрытого типа . . . . .	45 и более

Снабжение судов, подвергающихся тяжелому обледенению, закрытыми спасательными плотами имеет первостепенное значение.

Несмотря на большую опасность обледенения, с ним можно успешно бороться. В СССР накоплен богатый опыт обеспечения безопасности плавания в тяжелых погодных условиях, приведены обширные научные исследования в области мореходных качеств судов.

Безаварийное плавание при обледенении обеспечивают, во-первых, метеорологи (своевременное предупреждение об ожидаемом обледенении); во-вторых, судоводители (подготовка к обледенению и правильное управление судами); в-третьих, судостроители (проектирование и постройка судов, подвергающихся обледенению в меньшей степени и дольше сохраняющих необходимые мореходные качества).

В настоящее время гидрометеорологические условия, вызывающие обледенение, в основном изучены. Это позволяет обеспечить достаточную степень надежности и заблаговременное прогнозирование обледенения. Передаваемые на суда прогнозы и факсимильные карты погоды в сочетании с судовыми гидрометеорологическими наблюдениями практически исключают возможность неожиданного обледенения. Поэтому малые суда с ограниченным районом плавания могут своевременно укрыться в порту-убежище, а суда, находящиеся в отдаленных районах Мирового океана, имеют время подготовиться к обледенению. На судах должна быть налажена регулярная радиовахта, обеспечен своевременный прием всей необходимой метеорологической информации, а капитаны обязаны знать местные признаки изменения погоды и гидрометеорологические особенности района плавания.

Следует напомнить, что любое судно, какими бы отличными мореходными качествами оно ни обладало, может оказаться в аварийном положении в результате неумелых действий. Удовлетворение требованиям Норм остойчивости Регистра СССР не гарантирует безопасности, если будут нарушаться правила загрузки судна, подготовки его к шторму и управления.

Существующая в СССР в настоящее время методика нормирования остойчивости прошла достаточно длительное испытание на практике и показала свою рациональность и обоснованность. Наш флот, как транспортный, так и промысловый, значительно меньше страдает от аварий, связанных с потерей остойчивости, чем флоты многих развитых морских стран мира. В значительной степени это объясняется существованием научно обоснованных официальных обязательных Норм остойчивости Регистра СССР.

Нормативные требования, обеспечивая достаточную безопасность плавания, не должны наносить неоправданного экономического ущерба, создавать затруднения при эксплуатации судов. Наиболее естественный путь решения такой задачи состоит в периодической корректировке норм на основе опыта их применения.

При такой корректировке могут быть приняты во внимание следующие предложения.

1. Дифференцировать нормирование обледенения в зависимости от размеров судна. В настоящее время к крупнотоннажным судам предъявляются такие же требования, как и к малым, хотя первые в значительно меньшей степени подвержены обледенению. Дифференцировать нормы можно следующим образом: а) установить разные нормативные требования к судам, размеры которых больше и меньше определенного водоизмещения; б) установить границу возможного обледенения по высоте (последним способом вопрос решен, кстати, в ряде зарубежных норм остойчивости); в) учитывать высоту надводного борта таким образом, чтобы суда с высоким надводным бортом можно было рассчитывать на меньшую массу льда.

2. Целесообразно пересмотреть расчетные массы льда на единицу поверхности как по районам плавания, так и по абсолютным значениям. Практика показывает, что в некоторых районах южнее  $66^{\circ} 30'$  с. ш., например в Балтийском и Японском морях, возможно тяжелое обледенение. В Японском и Балтийском морях зафиксированы случаи более опасного обледенения, чем на трассе Северного морского пути.

3. При дифференцировании расчетных масс льда целесообразнее ставить их в зависимость от ограничения района плавания, т. е. от допустимого удаления от порта-убежища. Для судов неограниченного района плавания должна устанавливаться, разумеется, максимальная расчетная масса льда: для судов ограниченного района I — уменьшенная на некоторую величину, для судов ограниченного района II — еще меньшая. Такая система должна учитывать возможность возвращения в порт при возникновении опасности тяжелого обледенения. Обоснованным представляется дифференцирование расчетных масс льда и по длине судна (в носовой части больше, в кормовой — меньше).

4. Для небольших судов неограниченного района плавания (водоизмещением меньше 3 тыс. т), систематически работающих в районах возможного обледенения, необходимо увеличить расчетные нормы льда приблизительно на 1/3. Даже в этом случае они не будут соответствовать фактически наблюдаемым, но при большем запасе остойчивости на этих судах команда сможет успеть сколоть лед или увести судно из района обледенения.

5. Целесообразно пересмотреть соотношение между расчетными массами льда на единицу вертикальных и горизонтальных поверхностей, увеличив их с 0,5 до 0,8.

6. Учитывая повышенное аккумулялирование льда цилиндрическими поверхностями небольшого диаметра, представляется целесообразным расчетные нормы обледенения устанавливать отдельно для плоских горизонтальных, плоских вертикальных и цилиндрических поверхностей, относя к последним детали диаметром меньше 0,5 м. Для цилиндрических поверхностей расчетные нормы обледенения устанавливать на единицу длины (на 1 пог. м).

7. Для судов, имеющих специальные антиобледенительные устройства или покрытия, следует установить определенные льготы при нормировании их остойчивости, например уменьшенные нормы расчетных ледовых нагрузок. Это, во-первых, соответствует физической сущности возникающей ситуации, а во-вторых, будет стимулировать судовладельцев на создание, внедрение и распространение антиобледенительных средств, что несомненно повысит безопасность плавания.

Внедрение каких именно антиобледенительных средств может служить основанием для снижения нормативных требований и в какой степени — вопрос, требующий дополнительных специальных исследований.

8. В число поверхностей, площадь которых учитывается при расчете нормируемого обледенения, следует включить не только бортовые, но и некоторые фронтальные поверхности, например лобовую переборку средней надстройки.

9. На небольших судах, где шлюпочное устройство подвергается сильному брызговому обледенению, целесообразно заменить его надувными спасательными плотами закрытого типа. Место их расположения должно быть максимально защищено от забрызгивания и заливания и, по возможности, обогреваемо выхлопными газами двигателя. Плоты могут быть расположены, например, в районе дымовой трубы.

10. Необходимо стремиться к максимальному упрощению судовых конструкций на верхней палубе, рангоута и такелажа.

11. Форма носовой части корпуса судна должна вызывать минимальное забрызгивание палубы и надстроек.

---

---

## Указатель литературы

1. Аксютин Л. Р., Благовещенский С. Н. Аварии судов от потери устойчивости. Л., Судостроение, 1975.
2. Бельшева Е. В. О выборе химических веществ, вызывающих таяние льда.— В сб.: Гидрометеорологические условия обледенения судов. Л., 1969, с. 180—189.
3. Беренбейм Д. Я. Гидрометеорологические условия обледенения судов.— В сб.: Гидрометеорологические условия обледенения судов. Л., 1969, с. 33—45.
4. Беренбейм Д. Я. Гидрометеорологические условия обледенения судов.— Метеорология и гидрология, 1969, № 5, с. 99—104.
5. Борисенков Е. П., Кузнецов М. А., Заблоцкий Г. А. и др. О возможностях использования тепловых методов борьбы с обледенением судна.— Труды ААНИИ, 1975, т. 317, с. 92—98.
6. Борисенков Е. П., Панов В. В. Основные результаты и перспективы исследований гидрометеорологических условий обледенения судов.— Труды ААНИИ, 1972, т. 298, с. 5—31.
7. Борисенков Е. П., Панов В. В., Панюшкин А. В. и др. О средствах защиты от обледенения.— Труды ААНИИ, 1975, т. 317, с. 4—12.
8. Борисенков Е. П., Панов В. В., Молчанов В. Н. Некоторые результаты теоретических расчетов интенсивности обледенения судов.— В сб.: Теоретические и экспериментальные исследования условий обледенения судов. Л., 1971, с. 6—15.
9. Бочек А. П. Опасность обледенения судов в море. ЦБНТИ ММФ, технико-экономическая информация, сер. Безопасность мореплавания, 1966, № 6, с. 3—8.
10. Буянов Н. Ф. Влияние обледенения на устойчивость судов.— Морской флот, 1971, № 1, с. 22—24.
11. Буянов Н. Ф. О критериях устойчивости и гидрометеорологических комплексах при обледенении судов в море.— В сб.: Гидрометеорологические условия обледенения судов в море. Л., 1969, с. 76—85.
12. Буянов Н. Ф. Оценка обледенения судна.— Морской флот, 1971, № 12, с. 27—28.
13. Васильева Г. В. Гидрометеорологические условия обледенения морских судов.— Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра СССР. Л., 1971, вып. 87, с. 82—92.
14. Васильева Г. В. Случай обледенения судов на Дальнем Востоке в ян-

- варе 1968 г.— В сб.: Теоретические и экспериментальные исследования условий обледенения судов. Л., 1971, с. 166—170.
15. Воеводин Н. Ф. Влияние приема груза на остойчивость судна. Л., Судостроение, 1964, с. 165.
  16. Гашин Л. И., Шарапов А. В. Об оценке интенсивности обледенения морских судов. — Труды ЛГИ, 1972, вып. 45, с. 117—126.
  17. Георгиев Г. Обледенение судов на Черном море. ВИНТИ, экспресс-информация, сер. Водный транспорт, 1976, № 34, с. 16—20.
  18. Голик С. М., Кузнецов В. П., Култашев Е. Н. и др. Влияние мореходных качеств СРТ «Академик Бер» на его обледенение и влияние обледенения на остойчивость судна. — В сб.: Гидрометеорологические условия обледенения судов. Л., 1969, с. 126—164.
  19. Грузинский П. П., Хохлов П. М. Аварийно-спасательное дело и борьба за живучесть судна. М., Транспорт, 1977.
  20. Гундобин А. Борьба с обледенением судов. Владивосток, Дальневосточное книжное издательство, 1966.
  21. Гундобин А., Кузнецов М. Борьба с обледенением танкеров. — Морской флот, 1972, № 11, с. 27—28.
  22. Гурвич Л. Е. О сравнении фактической ледовой нагрузки рыбопромысловых судов с Нормами Регистра СССР. Исследование физической природы обледенения судов. — Труды ААНИИ, 1972, т. 298, с. 137—148.
  23. Древич В. А. О распределении льда на основных конструкциях судов типа СРТМ. — Труды ААНИИ, 1975, т. 317, с. 141—143.
  24. Древич В. А. Распределение нагрузок при обледенении СРТМ-8434. — В сб.: Безопасность мореплавания и ведения промысла. Л., 1974, вып. 30, с. 56—59.
  25. Дреко В. Норму обледенения можно увеличить. — Морской флот, 1976, № 11, с. 33—34.
  26. Епарин М. Остойчивость малотоннажных судов при движении на попутной волне. — Морской флот, 1959, № 3, с. 10—11.
  27. Ерохин Е. О безопасности плавания судов при обледенении. — Морской флот, 1961, № 9, с. 15—18.
  28. Житенев Е. С. Влияние гидрометеорологических факторов на живучесть рыбопромысловых судов. — В сб.: Анализ характерных аварийных случаев с судами флота рыбной промышленности и рекомендации по их предупреждению. Л., 1971, вып. 19, с. 48—56.
  29. Исследование остойчивости средних рыболовных трейлеров, работающих в условиях Дальнего Востока. — В кн.: Теоретические и практические вопросы остойчивости и непотопляемости морских судов. М. — Л., 1965, с. 70—79.
  30. Каменецкий И. Я., Швайштейн З. И., Сергеева А. А. Адгезия льда к палубным покрытиям, используемым как средство борьбы с обледенением судов. — В сб.: Теоретические и экспериментальные исследования условий обледенения судов. Л., 1971, с. 134—145.
  31. Качурин Л. Г., Гашин Л. И. Интенсивность обледенения малотоннажных рыбопромысловых судов в различных гидрометеорологических условиях. — Метеорология и гидрология, 1974, № 3, с. 50—60.
  32. Клинецвич Г. Н. Выживаемость терпящих бедствие на море. М., Транспорт, 1977, с. 96.
  33. Ключникова Л. А. К вопросу об интенсивности обледенения палубы судов типа СРТ. — Труды ГГО, 1972, вып. 282, с. 106—119.
  34. Коврова А. М., Коротун С. П., Панов В. В. Гидрометеорологические условия обледенения судов в арктических морях. — В сб.: Гидрометеорологические условия обледенения судов, Л., 1969 с. 46—62.

35. Колосова Н. В., Панов В. В., Затонский М. Я. О методике составления карт вероятности обледенения судов для арктических морей. — В сб.: Теоретические и экспериментальные исследования условий обледенения судов. Л., 1971, с. 190—203.
36. Кузнецов В. П. Влияние обледенения на остойчивость судна. — В сб.: Теоретические и экспериментальные исследования условий обледенения судов. Л., 1971, с. 77—86.
37. Култашев Е. Н., Малахов Н. Ф., Панов В. В. и др. Брызговое обледенение рыбопромысловых судов типа СРТ и СРТМ. — Труды ААНИИ, 1972, т. 298, с. 125—136.
38. Култашев Е. Н. Нагрузка на суда типа СРТ при обледенении. — В сб.: Анализ характерных аварийных случаев с судами флота рыбной промышленности и рекомендации по их предупреждению. Л., 1970, вып. 15, с. 47—60.
39. Култашев Е. Н. Обледенение СРТ в зависимости от условий плавания. — В сб.: Анализ характерных аварийных случаев с судами флота рыбной промышленности и рекомендации по их предупреждению. Л., 1971, вып. 20, с. 34—40.
40. Култашев Е. Н., Панов В. В. Результаты исследования обледенения судна типа СРТ в натуральных условиях. — Технология судостроения, 1970, № 1, с. 94—98.
41. Култашев Е. Н. Прогностическая оценка обледенения судов. — В сб.: Анализ характерных аварийных случаев с судами флота рыбной промышленности и рекомендации по их предупреждению. Л., 1971, вып. 19, с. 56—62.
42. Луговский В. В. О нормировании остойчивости гражданских морских судов в разных странах. — Морской транспорт, 1963, с. 182.
43. Мастерских М. А. К прогнозу интенсивности обледенения судов на Черном море при Новороссийской боре. — Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра СССР, 1975, вып. 158, с. 43—46.
44. Методические указания по предупреждению об угрозе обледенения судов. М., Главное управление гидрометеослужбы при Совете Министров СССР, 1971.
45. Муру Н. П. Обеспечение непотопляемости корабля. М., Воениздат, 1965.
46. Нечаев Ю. И. Авария СРТ «Бокситогорск» в условиях интенсивного обледенения. — Морской флот, 1967, № 1, с. 25—27.
47. Никифоров М. И. Обледенение траулеров. Изд. 2-е. Калининградское книжное издательство, 1966.
48. Нормирование остойчивости кораблей ВМС ФРГ. ВИНТИ, экспресс-информация, сер. Судостроение, 1967, вып. 7, с. 1—20.
49. Пальчинский А. Случай обледенения малого судна. — Морской флот, 1967, № 12, с. 18.
50. Панов В. В. Обледенение судов. — Труды ААНИИ, 1976, т. 334, с. 262.
51. Панов В. В. О частоте и степени забрызгивания судна типа СРТ. — В сб.: Теоретические и экспериментальные исследования условий обледенения судов. Л., 1971, с. 87—90.
52. Панов В. В., Панюшкин А. В., Швайштейн З. И. Физические процессы при забрызгивании судна. — Труды ААНИИ, 1975, т. 317, с. 13—32.
53. Панюшкин А. В., Швайштейн З. И., Сергачева Н. А. О некоторых термодинамических критериях при выборе материалов для построения покрытий, уменьшающих адгезию льда к конструкционным материалам. — Труды ААНИИ, 1972, т. 298, с. 51—57.
54. Панюшкин А. В., Швайштейн З. И., Сергачева Н. А. и др. Результаты

- испытаний некоторых средств борьбы с обледенением в натуральных условиях. — Труды ААНИИ, 1972, т. 298, с. 91—96.
55. **Песков Н. Н.** Борьба с авариями на морском транспорте. М., Гострансиздат, 1936.
  56. **Плахотник А. Ф.** Обмерзание корабля. — Морской сборник, 1970, № 9, с. 74—79.
  57. Правила классификации и постройки морских судов. Регистр СССР. Л., Транспорт, 1977, т. 1, с. 495.
  58. Рекомендации капитанам по борьбе за живучесть судов флота рыбной промышленности в условиях обледенения. Гипрорыбфлот, Л., 1973, с. 15.
  59. **Розенцвейг В. Б.** Влияние обледенения на мореходность рыбопромысловых судов. — В сб.: Анализ характерных аварийных случаев с судами флота рыбной промышленности и рекомендации по их предупреждению. Л., 1970, вып. 17, с. 84—91.
  60. **Розенцвейг В. Б.** Влияние обледенения на мореходность и остойчивость промысловых судов. — В кн.: Теоретические и экспериментальные исследования условий обледенения судов. Л., 1971, с. 70—76.
  61. **Розенцвейг В. Б.** Натурные наблюдения за причинами и характером обледенения промысловых судов в Северном бассейне. — В сб.: Анализ характерных случаев с судами флота рыбной промышленности и рекомендации по их предупреждению. Л., 1971, вып. 22, с. 41—54.
  62. **Розенцвейг В. Б.** Статистические сведения об обледенении промысловых судов. — В сб.: Анализ характерных аварийных случаев с судами флота рыбной промышленности и рекомендации по их предупреждению. Л., 1971, вып. 21, с. 32—36.
  63. **Розенцвейг В. Б., Тягинова К. Б.** Табель снабжения судов ФРП ручным инвентарем для борьбы с обледенением. — В сб.: Анализ характерных аварийных случаев с судами флота рыбной промышленности и рекомендации по их предупреждению. Л., 1973, вып. 26, с. 89—94.
  64. **Рыбников Б. Н.** Анализ уникального случая обледенения среднего рыболовного траулера «Пярну». — Труды ААНИИ, 1975, т. 317, с. 132—140.
  65. **Саведа Теруо.** Проблемы обледенения корпуса судна в прибрежных водах Японии. — Уми-но кисё, 1973, 19, № 2, с. 1—15.
  66. **Саговский Е.** Наше судоходство. — Русское судоходство, 1911, № 1, с. 135—150.
  67. **Севастьянов Н. Б.** Остойчивость промысловых судов. Л., Судостроение, 1970.
  68. **Семенова Е. П.** Лабораторные испытания химических реагентов-антиобледенителей в холодильной камере ААНИИ. — Труды ААНИИ, 1972, т. 298, с. 97—104.
  69. **Смирнов В. И.** Условия обледенения судов и борьба с ними (по зарубежным данным). — Труды ААНИИ, 1972, т. 298, с. 174—178.
  70. **Стехновский Д. И., Васильев К. П.** Справочник по навигационной гидрометеорологии. М., Транспорт, 1976.
  71. **Тюрин А. П.** К вопросу о методике наблюдений за обледенением на судах флота рыбной промышленности. — Метеорология и гидрология, 1969, № 11, с. 108—110.
  72. **Файн Н., Фрейберг А.** Обзор литературы по обледенению судов. Гидрометеорологический научно-исследовательский центр СССР. — Гидрометеорология за рубежом, 1968, вып. 7/21, с. 43—55.
  73. **Цой Л. Г.** Анализ аварии СРТ «Бокситогорск» и аварийного состояния СРТ «Атамань». — В сб.: Теоретические и практические вопросы остойчивости и непотопляемости морских судов. Л., 1968, с. 208—223.

74. **Шарапов А. В.** Об интенсивности обледенения малых судов (типа СРТ). — В сб.: Теоретические и экспериментальные исследования условий обледенения судов. Л., 1971, с. 95—97.
75. **Шарапов А. В.** О количестве воды, поступающей на судно типа СРТ при забрызгивании. — В сб.: Теоретические и экспериментальные исследования условий обледенения судов. Л., 1971, с. 91—94.
76. **Швайштейн З. И.** Борьба с обледенением подводных конструкций судна. — В сб.: Теоретические и экспериментальные исследования условий обледенения судов. Л., 1971, с. 124—133.
77. **Шехтман А. Н.** Вероятность и интенсивность обледенения морских судов. — Труды НИИаэроклиматологии, 1968, вып. 50, с. 55—65.
78. **Шмидт М. В.** К вопросу об остойчивости промысловых судов в условиях обледенения. — Труды ЦНИИ им. А. Н. Крылова. 1970, вып. 2643, с. 74—83.
79. **Шмидт М. В.** Результаты расчетов влияния обледенения на изменение ветростойкости промысловых судов. — В сб.: Теоретические и экспериментальные исследования условий обледенения судов. Л., 1971, с. 49—56.
80. **Эйдельман Д. Я.** Обледенение судов в море. — Рыбное хозяйство, 1966, № 1, с. 33—35.
81. Bureau of ships Journal, 1958, vol. 6, N 9, p. 15—19.
82. Entscheidungen deutscher Seeämter. Hansa, 1958, N 14—15, s. 710.
83. Landy M., Freiburger A. An approach to the shipboard icing problem. Naval Engineers Journal, 1968, Febr. N 1, vol. 80, p. 63—72.
84. Safety at Sea International, 1973, N 47, p. 8—9.
85. The Motor Ship, Oct. 1955, p. 310.
86. Trawler Icing Research. Problem of Design. Ship and Boat Builder and naval architect, 1957, vol. 10, May, p. 171—174.

## Оглавление

Введение . . . . .	3
Глава I. Условия образования льда на судне . . . . .	7
§ 1. Классификация обледенения . . . . .	—
§ 2. Условия возникновения обледенения и свойства льда . . . . .	12
§ 3. Интенсивность обледенения . . . . .	17
§ 4. География районов обледенения судов . . . . .	32
Глава II. Влияние обледенения на мореходные качества судов . . . . .	35
§ 5. Уменьшение запаса плавучести . . . . .	—
§ 6. Ухудшение управляемости . . . . .	37
§ 7. Снижение остойчивости . . . . .	39
Глава III. Аварии морских судов от обледенения . . . . .	46
§ 8. Аварии промысловых судов . . . . .	—
§ 9. Аварии транспортных и вспомогательных судов . . . . .	55
§ 10. Остойчивость аварийных судов . . . . .	63
§ 11. Соответствие фактического обледенения расчетным нормам . . . . .	71
Глава IV. Борьба с обледенением . . . . .	89
§ 12. Учет обледенения при нормировании остойчивости . . . . .	—
§ 13. Борьба с обледенением на судах . . . . .	96
§ 14. Антиобледенительные средства . . . . .	103
§ 15. Конструктивные меры, направленные на уменьшение обледенения . . . . .	112
Заключение . . . . .	118
Указатель литературы . . . . .	122

**Леонид Родионович Аксютин**  
**Обледенение судов**

---

---

Редактор З. Г. Якимова  
Художественный редактор В. А. Пурицкий  
Технический редактор А. П. Ширяева  
Корректор И. П. Острогорова  
Оформление переплета художника Д. М. Плаксина

ИБ № 414

Сдано в набор 28.02.79. Подписано к печати 31.05.79. М-28033. Формат издания 60×94/16. Бумага типографская № 2. Гарнитура шрифта литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 7,44. Уч.-изд. л. 7,6. Тираж 5300 экз. Заказ № 95. Изд. № 3364 — 77. Цена 45 коп.

Издательство «Судостроение», 191065, Ленинград, ул. Гоголя, 8.

Ордена Трудового Красного Знамени Ленинградская типография № 2 имени Евгении Соколовой «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 198052, Ленинград, Л-52, Измайловский проспект, 29

